

Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Biologia Animal



**Qual o papel trófico da lagartixa-da-Madeira,  
*Teira dugesii selvagensis*, na Selvagem Grande?**

Francisco Fonseca de Aguiar

**Mestrado em Biologia da Conservação**

Dissertação orientada por:

Prof. Doutor Rui Rebelo

**2016**

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todos os que contribuíram para a realização da minha tese de mestrado e que permitiram o enriquecimento da mesma de alguma forma:

Um especial obrigado ao meu orientador, Professor Rui Rebelo, por todo o apoio e transmissão de conhecimentos, pelas várias revisões e correções da tese e principalmente pelo voto de confiança e pela oportunidade que me deu para trabalhar nas Ilhas Selvagens.

Como os *softwares* nem sempre são simples, queria agradecer à Doutora Teresa Catry e ao Professor José Pedro Grandeiro por me terem ajudado e ensinado a programar no *software* R.

Ao Professor Paulo Catry pela origem da ideia da tese e pelo co-financiamento da minha segunda ida à Selvagem Grande.

Ao Parque Natural da Madeira, em especial à Carolina Jardim Santos, pela autorização fornecida para realizar o trabalho de campo na Selvagem Grande e por todos os meios logísticos prestados durante as minhas duas estadias.

Aos guardas da reserva, Clemente e Jaques, às minhas grandes “ajudantes forçadas”, Aurore Ponchon e Joana Romero, e claro à “Selvagem” por todo o apoio, ajuda, companhia e acima de tudo amizade durante as estadias na Selvagem Grande que não teriam sido as mesmas sem vocês.

Ao Técnico Rodrigo Maia por me ter explicado todo o processo inerente à quantificação dos isótopos estáveis e por toda a bibliografia fornecida.

Ao Professor Artur Serrano e Doutor Mário Boieiro pela identificação das espécies de coleópteros e de formicídeos utilizados na tese.

À malta do laboratório, Carolina Bloise, Edna Correia, Fernando Madeira, Francisco Moreira e Raquel Marques, que promoveram um ambiente de descontração durante toda parte laboratorial da tese e que foram sempre aconselhando e discutindo ideias sobre a tese.

Aos grandes amigos que fiz na FCUL, Ana Coelho, Diana Almeida, Diogo Amaro, Emanuel “Bissau” Dias, Mohammed Henriques, Robério Filho e Sofia Dias, pela grande companhia e “escapadinhas” ao trabalho, pelo interesse e ideias sobre a tese, pelos jantares e pela grande amizade que são!

À turma de Mestrado em Biologia da Conservação 2015/2016 pelo interesse mostrado pelos corredores e troca de ideias rápidas.

Um enorme obrigado à minha namorada que me apoiou sempre do início ao fim e que acreditou sempre no sucesso da tese. A todas as revisões cuidadosas da tese que permitiram facilitar a fluidez do texto e a toda a compreensão pelas horas perdidas a escrever.

Apesar de não terem tido uma influência no conteúdo da tese, um caloroso obrigado aos meus familiares por me apoiarem com mimos e por mostrarem interesse no meu trabalho. Em especial, um obrigado aos meus pais, ao meu irmão e aos meus futuros sogros.

Muito obrigado a todos!!!

## **Resumo**

As ilhas oceânicas são locais de nidificação utilizados pela maioria das espécies de aves marinhas. A dinâmica destes ecossistemas insulares é fortemente influenciada por esse grupo de aves devido ao transporte de nutrientes de origem marinha. Nestes ecossistemas, a existência de répteis terrestres é muito comum. A elevada competição intraespecífica dos répteis insulares, que resulta das grandes densidades que estas espécies podem atingir em ilhas sem predadores, é um fator que pode levar à diversificação da dieta. Assim, a dieta dos répteis insulares tende a ser mais herbívora que a das espécies do mesmo género nos continentes. A lagartixa-da-Madeira, *Teira dugesii selvagensis*, é uma espécie parcialmente herbívora, mas que também preda crias recém-nascidas de cagarra, tendo um impacto de 5% no sucesso reprodutor desta ave marinha na Selvagem Grande. O presente estudo tem como objetivo caracterizar e comparar a estrutura populacional e o papel da lagartixa-da-Madeira na teia trófica de várias áreas da Selvagem Grande, seleccionadas de acordo com o tipo de relevo, a dimensão das colónias de aves marinhas e ainda a cobertura por vegetação, nas duas épocas distintas da nidificação das cagarra (incubação dos ovos e período de alimentação das crias). A abundância das lagartixas nas diferentes áreas e nas duas épocas foi estimada com o método de captura-marcação-recaptura. Recolheu-se ainda dejetos das lagartixas para identificar os respectivos conteúdos. Foram recolhidas amostras de várias espécies constituintes da cadeia trófica da ilha para análise isotópica. No tratamento dos resultados isotópicos, utilizou-se os *packages* SIAR e SIBER.

As maiores abundâncias de lagartixas e as maiores coberturas vegetais foram detetadas em áreas com um menor efetivo de aves marinhas. No entanto, a proporção de imaturos de lagartixa foi superior nas falésias da zona Sul e Sudoeste da ilha, coincidindo com as maiores colónias de aves marinhas. Ocorreu um incremento da herbivoria com o tamanho dos indivíduos, sendo este facto suportado pela elevada percentagem de conteúdos vegetais (cerca de 65%) encontrada nos dejetos. A base das cadeias tróficas foi muito variável entre áreas e é provavelmente influenciada pela topografia da ilha e pelos *inputs* das aves marinhas. A comparação das assinaturas isotópicas entre as osgas e as lagartixas da ilha permitiu caracterizar os nichos ocupados por cada espécie, sendo as diferenças justificadas pelas dietas. As aves marinhas ou os nutrientes por elas trazidos têm mais importância para a alimentação de *T.d. selvagensis* nas áreas onde as colónias são maiores. As áreas com mais aves marinhas são aquelas onde as lagartixas apresentam uma menor diferença nos nichos isotópicos entre épocas, e as maiores diferenças de nicho isotópico ocorrem na área com menos recursos. Os resultados isotópicos corroboram os resultados dos dejetos, indicando o consumo de aves marinhas na época correspondente ao período de alimentação das crias. Os resultados obtidos no presente estudo comprovam que a pressão exercida pelas lagartixas nas aves marinhas é variável ao longo da ilha. Ao contrário do que era esperado, os locais com mais vegetação, apesar de promoverem maiores abundâncias, são as áreas nas quais o impacto nas aves marinhas é reduzido, e como tal dever-se-á monitorizar as populações de lagartixas para avaliar as suas tendências populacionais com o crescimento da vegetação que continua a decorrer após a erradicação do coelho-bravo e do rato-doméstico.

**Palavras-chave:** répteis insulares, lagartixa-da-Madeira, aves marinhas, Selvagem Grande, teia trófica, isótopos estáveis

## **Abstract**

The majority of seabird species nests in oceanic islands, having an important role in the dynamics of these insular ecosystems due to marine nutrient inputs. On these islands, the existence of terrestrial reptiles is very common, and these may reach high densities due to the absence of predators. Therefore, increased intraspecific competition leads to diet diversification, leading to more frequent herbivory among insular reptiles. The Madeira wall lizard, *Teira dugesii selvagensis*, is a partially herbivorous species that also predated Cory shearwater chicks, having an impact of 5% on the reproductive success of this seabird at the island of Selvagem Grande. This study aims to characterize and compare the population structure of Madeira wall lizards, as well as its role in the trophic web of various areas of Selvagem Grande. These areas were designated according to the type of relief, size of seabird colonies and vegetation cover, in two different Cory shearwater nesting seasons (egg incubation and offspring feeding period). The abundance of lizards in different areas and in both seasons was estimated using capture-mark-recapture. Lizard droppings were also collected, to identify contents. Samples of species belonging to the Selvagem Grande trophic chain were collected for isotopic analysis. Isotopic results were analyzed using SIAR and SIBER packages.

Both the highest abundance of lizards and the highest vegetation cover were found in areas with small seabird colonies. In spite of that, the proportion of lizard immatures was higher on the South/Southwest facing cliffs, where the largest seabird colonies are located. Herbivory increases with lizard size, and there was a high percentage of vegetable contents (about 65%) in the droppings. The isotopic basis of the trophic chain varied significantly among areas and is probably influenced by island topography and seabird inputs. Comparing signatures between geckos and lizards of the island, allowed the characterization of niches occupied by each species, being the differences justified by their diets. In areas with larger seabird colonies, seabirds or nutrient inputs brought by them were extremely important for the diet of *T.d. selvagensis*. The lizards with smaller differences in their isotopic niche between seasons were found in the areas with most seabirds, while the highest isotopic niche differences occurred where resources were fewer. Isotopic results validate the dropping analysis, indicating consumption of seabirds during the bird offspring feeding period. Results obtained in this study suggest that the pressure of lizards on seabird colonies is variable along the island. In contrast to what was expected, in areas with more vegetation there was a reduced impact on seabirds, despite higher abundances of lizards. Lizard monitorization should be continued to assess population trends as vegetation recovers after the eradication of rabbit and domestic mouse.

**Keywords:** insular reptiles, Madeiran wall lizard, seabirds, Selvagem Grande, trophic web, stable isotopes

# **Índice**

1. Introdução.....	1
2. Materiais e Métodos.....	5
2.1 Caracterização da área de estudo .....	5
2.2 Estrutura populacional de <i>Teira dugesii selvagensis</i> .....	8
2.2.1 <i>Análise de dados</i> .....	9
2.3 Análise de dejetos de <i>Teira dugesii selvagensis</i> .....	9
2.3.1 <i>Análise de dados</i> .....	9
2.4 Análise isotópica da teia trófica da Selvagem Grande .....	10
2.4.1 <i>Análise de dados</i> .....	11
3. Resultados .....	13
3.1 Caracterização da área de estudo .....	13
3.2 Estrutura populacional de <i>Teira dugesii selvagensis</i> .....	14
3.3 Análise de dejetos de <i>Teira dugesii selvagensis</i> .....	17
3.4 Análise isotópica da teia trófica da Selvagem Grande .....	19
4. Discussão.....	29
5. Implicações para a Conservação.....	33
6. Referências bibliográficas .....	34
7. Anexos .....	40

# **Lista de Tabelas e Figuras**

## **Tabelas**

<b>Tabela 2.1.1</b> - Número de ninhos de <i>Calonectris borealis</i> contados por Granadeiro et al., (2006), nas diversas áreas de estudo. As áreas foram dispostas por ordem crescente de número de ninhos.....	7
<b>Tabela 2.1.2</b> - Espécies animais e vegetais e amostras de solo recolhidas em cada local, nas diversas épocas e áreas da ilha. É também indicada a Família dos animais recolhidos, assim como o nível trófico presumível de todas as espécies.....	10
<b>Tabela 3.2.1</b> - Número total de indivíduos de <i>Teira dugesii selvagensis</i> , recapturados e não recapturados, e efetivo populacional estimado, nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem. Na Época 1 não foi possível estimar valores em duas áreas (FAV <sup>+</sup> e FAV1).....	14
<b>Tabela 3.2.2</b> - Número total de lagartixas de cada sexo capturadas durante os 3 dias: Machos (M), Fêmeas (F), e sex-ratio (M:F), nas várias áreas da ilha, nas duas épocas de amostragem. O asterisco indica diferenças significativas ( $\chi^2$ : $P < 0,05$ ).....	15
<b>Tabela 3.4.1</b> - Valores das áreas totais dos nichos ocupadas (TA) e das elipses-padrão corrigidas (SEAc) para <i>Teira dugesii selvagensis</i> nas diferentes áreas da ilha e na duas épocas. A sobreposição das elipses nas duas épocas é apresentada sobre a forma percentual (%). O traço representa uma sobreposição nula.....	24

## **Figuras**

<b>Figura 2.1.1</b> - Localização do arquipélago das Ilhas Selvagens no Atlântico Nordeste (canto superior esquerdo) e mapa da Selvagem Grande (à direita) com a localização das áreas de estudo. As siglas das áreas estão de acordo com: a sua topografia (F- falésia; P- planalto), a existência de ninhos de aves marinhas (A) e ainda a sua cobertura vegetal (V- alguma vegetação, V+- vegetação abundante). A linha a cinzento representa a curva de nível dos 80 m. Pico da Atalaia-163m; Pico dos Tornozeiros-137m. Para a produção do mapa foi utilizado o software QGIS 2.8 Wien.....	6
<b>Figura 3.1.1</b> - Percentagem de cobertura vegetal das diferentes espécies e grupos funcionais nas diversas áreas de estudo.....	13
<b>Figura 3.2.1</b> - Número total de indivíduos estimados de <i>Teira dugesii selvagensis</i> nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem.....	14
<b>Figura 3.2.2</b> - Distribuição de tamanhos (SVL) de <i>Teira dugesii selvagensis</i> (Machos e Fêmeas) na Época 1 (em cima) e na Época 2 (em baixo).....	15
<b>Figura 3.2.3</b> - Dimensão média de <i>Teira dugesii selvagensis</i> nas diferentes áreas da Selvagem Grande, nas duas épocas de estudo, segundo o sexo: Machos (M) e Fêmeas (F). Os valores estão apresentados como média $\pm$ desvio-padrão.....	16
<b>Figura 3.2.4</b> - Proporção de indivíduos de <i>Teira dugesii selvagensis</i> nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem, categorizadas pelo seu estágio: Adultos e Imaturos (Juvenis + Indivíduos com Sexo Indeterminado). O asterisco indica diferenças significativas entre épocas ( $\chi^2$ : $P < 0,05$ ).....	17
<b>Figura 3.3.1</b> - Percentagem volumétrica dos diferentes componentes dos dejetos de <i>Teira dugesii selvagensis</i> , nas diferentes áreas na Época 1 ( $n$ = tamanho amostral). (☿) Coleópteros; (♂) Formicídeos; (♂) Conteúdo Vegetal; (NI) Não Identificado.....	18

**Figura 3.3.2** - Percentagem volumétrica dos diferentes componentes dos dejetos de *Teira dugesii selvagensis*, nas diferentes áreas na Época 2 ( $n$  = tamanho amostral). (☿) Coleópteros; (✱) Formicídeos; (☞) Penas; (☛) Conteúdo Vegetal; (NI) Não Identificado.....18

**Figura 3.4.1** - Coordenadas isotópicas das diferentes amostras de solos coletadas na Selvagem Grande, nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem.....19

**Figura 3.4.2** - Coordenadas isotópicas dos vários componentes da teia trófica da Selvagem Grande, nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem: Lagartixa - *Teira dugesii selvagensis*; Osga - *Tarentola bischoffi*; Insetos – *Hegeter latebricola* (HI) e *Monomorium subopacum* (Ms); Produtores: *Chenopodium coronopus* (Cm), *Lycopersicon esculentum* (Le), *Solanum nigrum* (Sn), *Schyzogyne sericea* (Ss), *Suaeda vera* (Sv); Solo; Aves – média das assinaturas de penas de crias, ovos e restos de regurgitações de *Calonectris borealis* e *Bulweria bulwerii*, de todas as áreas. Os valores estão apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.....20

**Figura 3.4.3** - Assinaturas isotópicas médias de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) de *Teira dugesii selvagensis* (Lagartixa) e *Tarentola bischoffi* (Osga), nas diversas áreas da ilha, na Época 1 (em cima) e na Época 2 (em baixo). Os valores estão apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão. O asterisco indica diferenças significativas (teste  $t$ :  $P < 0,05$ ).....22

**Figura 3.4.4** - Relação entre a dimensão dos indivíduos de *Teira dugesii selvagensis* amostrados e a sua assinatura isotópica de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ), nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem.....23

**Figura 3.4.5** - Áreas totais dos nichos isotópicos ocupadas (TA) (a tracejado) e das elipses-padrão corrigidas (SEAc) (a contínuo) de *Teira dugesii selvagensis* nas diferentes áreas da ilha, na Época 1 (preto) e na Época 2 (cinzento).....25

**Figura 3.4.6** - Probabilidades de contribuição, calculadas a partir do pacote SIAR, das várias fontes da dieta de *Teira dugesii selvagensis* nas diferentes épocas e áreas da ilha. *Hegeter latebricola* (HI); *Monomorium subopacum* (Ms); Produtores: *Chenopodium coronopus*, *Lycopersicon esculentum*, *Solanum nigrum*, *Schyzogyne sericea*, *Suaeda vera*; Aves – média das assinaturas de penas de crias, ovos e restos de regurgitações de *Calonectris borealis* e *Bulweria bulwerii* de todas as áreas. Os valores estão apresentados em intervalos de confiança de 50%, 70% e 95%.....27

## Anexos

**Anexo 3.2.1** - Diferenças estatísticas (teste *post-hoc* de Bonferroni) respeitantes à dimensão média de *Teira dugesii selvagensis*, nas diferentes áreas e épocas para Machos (em cima) e Fêmeas (em baixo). \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ .....40

**Anexo 3.2.2** - Resultados estatísticos (teste  $t$ ) respeitantes à comparação das assinaturas médias de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) de *Teira dugesii selvagensis* com *Tarentola bischoffi* nas diferentes áreas e épocas da ilha.....41

# **1. Introdução**

As ilhas oceânicas são geralmente formadas em *hotspots* vulcânicos e nunca estiveram conectadas com outras massas de terra. O seu isolamento impede a colonização por muitas espécies, e as poucas que se conseguem estabelecer sofrem muitas vezes processos de adaptação e especiação (Cronk, 1997; Whittaker, 1998; Myers et al., 2000; Drake et al., 2002). Um caso emblemático de evolução e adaptação em ilhas é o dos famosos tentilhões de Darwin no arquipélago das Galápagos (Lack, 1947).

A herbívoros é uma das adaptações evolutivas comuns em répteis que evoluíram em ilhas oceânicas (Van Damme, 1999; Meiri, 2007). Um dos casos mais extremos é o da iguana-das-Galápagos (*Amblyrhynchus cristatus* Bell, 1825), uma vez que é o único lagarto conhecido com hábitos marinhos e que se alimenta exclusivamente de algas (Shepherd e Hawkes, 2005). *Corucia zebrata* Gray, 1856, um scincídeo de grandes dimensões endêmico das ilhas Salomão, também se tornou integralmente herbívoro, tendo desenvolvido uma cauda preênsil que lhe permite uma melhor mobilidade nas árvores (Cooper Jr, 2000). A dieta dos répteis nas ilhas tende a ser mais herbívora que a das espécies do mesmo género nos continentes (Pérez-Mellado e Corti, 1993; Van Damme, 1999; Cooper e Vitt, 2002). Esta preferência alimentar é justificada pelas baixas densidades de artrópodes e pelo reduzido número de predadores existentes nas ilhas, comparativamente com os existentes nos continentes (Sokol, 1967; Janzen, 1973; Van Damme, 1999). A elevada competição intraespecífica, que resulta das grandes densidades que estas espécies podem atingir em ilhas sem predadores (Markwell e Daugherty, 2002), é também um fator que pode levar à diversificação da dieta. Muitos destes répteis assumem o papel de polinizadores (Whittaker, 1987; Eifler, 1995; Traveset e Sáez, 1997; Nyhagen et al., 2001) e dispersores de sementes (Valido e Nogales, 1994; Traveset, 1995; Whiting e Greff, 1997; Lord e Marshall, 2001; Godínez-Álvarez, 2004), sendo indispensáveis para a sobrevivência de muitas espécies endêmicas das ilhas (Valido e Olesen, 2010). As osgas diurnas do género *Phelsuma*, por exemplo, são as principais responsáveis pela polinização de muitas plantas endêmicas em Madagáscar (Minnaar et al., 2013; Gardner e Jasper, 2015). Nas ilhas Canárias, *Gallotia galloti* (Oudart, 1839) tem uma alimentação essencialmente frugívora (Valido, Nogales e Medina, 2003), tendo um papel crucial na dispersão de plantas nativas como *Rubia fruticosa* Ait. Uma vez que os répteis insulares são maioritariamente omnívoros, a abundância ou a escassez dos recursos alimentares promove a variabilidade da sua dieta ao longo do ano. Em alguns casos, pode estar sincronizada com a época de frutificação das plantas, ou até mesmo com a época de nidificação de aves marinhas (Barrett et al., 2005).

As ilhas, principalmente as ilhas oceânicas, são os locais de nidificação utilizados pela grande maioria das espécies de aves marinhas (Croxall et al., 2012). A ausência de predação e de perturbação fez com que este grupo se reproduza nesses ecossistemas remotos, sendo que algumas famílias de aves marinhas se reproduzem exclusivamente em ilhas (Spatz et al., 2014). Infelizmente, a predação e a perturbação humana estão atualmente presentes em quase todas as ilhas isoladas, estando associadas ao declínio e extinção de muitas espécies de aves (Blackburn et al., 2004). Em Portugal, 14 das 80 espécies das principais ordens de aves marinhas, Charadriiformes (gaivotas e garajaus), Pelecaniformes (corvos-marinhos) e Procellariiformes (pardelas, freiras e painhos), apresentam um estatuto de conservação igual ou superior a “Vulnerável”, segundo os critérios da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2016).

As aves marinhas têm um papel ecológico fundamental na dinâmica dos ecossistemas insulares devido aos *inputs* de nutrientes de origem marinha, que transportam para os solos das ilhas. Estes nutrientes



promovem o aumento da produtividade e, consequentemente, da abundância das populações de outras espécies, nomeadamente de invertebrados e de répteis (Markwell e Daugherty, 2002). Apesar das aves marinhas serem maioritariamente predadas por outras aves (Schreiber e Burger, 2001), como gaivotas, moleiros e alcaides, alguns répteis insulares alimentam-se de ovos, crias e carcaças de aves marinhas (Brooke e Houston, 1983; Cree e Lyon, 1999). Exemplos deste tipo de interação são as tuataras [*Sphenodon punctatus* (Gray, 1871)] e os scindídeos do género *Trachylepis* spp. (Fitzinger, 1843) nas Seychelles.

O arquipélago das Ilhas Selvagens, compreendido entre os paralelos 30° 01' 35'' e 30° 09' 10'' N, e os meridianos 15° 56' 15'' e 16° 03' 05'' W, localiza-se no Oceano Atlântico a cerca de 300 Km a Sul da Madeira e a 150 Km a Norte das Canárias (Figura 2.1.1). É constituído por 3 ilhas principais: a Selvagem Grande, a Selvagem Pequena e o Ilhéu de Fora. Devido à sua idade e isolamento, estas ilhas são consideradas um verdadeiro *hotspot* de biodiversidade (Borges et al., 2008), sendo, com aproximadamente 27 Ma, as mais antigas do grupo de ilhas da Macaronésia. Atualmente estão protegidas por lei como Reserva Natural segundo o decreto regional nº14/82/M de 10 de Novembro.

A flora deste grupo de ilhas encontra-se perfeitamente adaptada às condições adversas impostas pelas características dos solos e do clima. A diversidade vegetal é ímpar, uma vez que apresenta, não só vários endemismos da região da Macaronésia, como também do próprio arquipélago (Press e Short, 1994). A Selvagem Grande constitui o limite de distribuição latitudinal de algumas espécies de plantas, como o arbusto *Schizogyne sericea* (L.f.) DC (Jardim e Sequeira, 2008). Das plantas nativas desta ilha destacam-se na paisagem *Suaeda vera* Forssk. Ex J.F.Gmel e *Schizogyne sericea* nos planaltos e *Chenopodium coronopus* Moq. nas falésias. Porém, existem algumas plantas exóticas introduzidas: 3 solanáceas (*Lycopersicon esculentum* Mill., *Nicotiana glauca* Graham, *Solanum nigrum* L.) e mais recentemente 1 asterácea, *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist. Uma vez que têm um impacto negativo nas comunidades nativas das ilhas (Fischer e Van Der Wal, 2007), desde 2001 têm sido feitos esforços para erradicar *N. glauca* na Selvagem Grande, estando as populações atualmente controladas. Para além das espécies exóticas referidas, pensa-se ainda que *Mesembryanthemum crystallinum* L. poderá ter sido introduzido há bastante tempo (Jardim e Sequeira, 2008), sendo muito abundante em várias zonas do planalto.

A elevada abundância de aves marinhas nidificantes e a ausência de mamíferos nativos são as principais características da fauna da Selvagem Grande (Oliveira, 2008). Apesar de não ser um habitat muito produtivo, podem ser encontradas 78 espécies de coleópteros em todo o arquipélago, sendo algumas delas endémicas deste arquipélago (Stüben, 2016). Para além dos invertebrados, a Selvagem Grande é uma das áreas de nidificação mais importantes para as aves marinhas da Macaronésia e Atlântico Norte (Oliveira e Menezes, 2004). Da avifauna nidificante destacam-se 5 espécies: a Cagarra [*Calonectris borealis* (Cory, 1881)], a Alma-negra [*Bulweria bulwerii* (Jardine e Selby, 1828)], o Calca-mar [*Pelagodroma marina hypoleuca* (Webb, Berthelot e Mouquin-Tadon, 1841)], o Roque-de-castro [*Hydrobates castro* (Harcourt, 1851)] e o Pintainho [*Puffinus baroli* (Bonaparte, 1857)]. O Corre-caminhos [*Anthus berthelotii berthelotii* (Bolle, 1962)], um motacílideo de pequeno porte, é a única ave terrestre residente.

A osga-das-Selvagens (*Tarentola bischoffi* Joger, 1984) e a lagartixa-da-Madeira [*Teira dugesii* (Milne-Edwards, 1829)] são as únicas espécies endémicas de vertebrados não voadores do arquipélago da Madeira, sendo a primeira exclusiva das ilhas Selvagens (Jesus et al., 2009). As lagartixas-da-Madeira são muito abundantes em todas as ilhas e podem ocorrer em praticamente qualquer habitat terrestre, incluindo áreas urbanas (Almeida et al., 2001). As fêmeas fazem as primeiras posturas em junho, ocorrendo as eclosões dos ovos entre julho e agosto. Ao contrário da maior parte dos

lacertídeos, *T. dugesii* apresenta uma dieta omnívora e generalista, alimentando-se preferencialmente de insetos e pequenos frutos (Sadek, 1981). Em consequência da sua alimentação, esta lagartixa é uma espécie-chave, assumindo funções polinizadoras e de dispersão de sementes de algumas espécies de plantas do arquipélago (Olesen e Valido, 2003). Através de análises de sequências de mtDNA, foram descritas 4 sub-espécies filogeograficamente distintas desta lagartixa: *Teira dugesii dugesii* (Milne-Edwards, 1829) na Madeira, *Teira dugesii jogeri* Bischoff, Osenegg e Mayer, 1989 no Porto Santo, *Teira dugesii maui* Mertens, 1938 nas ilhas Desertas e *Teira dugesii selvagensis* Bischoff, Osenegg e Mayer, 1989 nas ilhas Selvagens (Brehm et al., 2003).

Em 2002, decorreu o projeto de erradicação do rato-doméstico (*Mus musculus* Linnaeus, 1758) e do coelho-europeu [*Oryctolagus cuniculus* (Linnaeus, 1758)] na Selvagem Grande (Oliveira et al., 2010). Tal como a presente tentativa de erradicação de *N. glauca*, estas ações têm promovido o aumento da distribuição e densidade da fauna e da flora nativas da ilha (Oliveira et al., 2010). Apesar de não existir qualquer estudo populacional pós-erradicação sobre *T.d. selvagensis*, pode inferir-se que a sua população poderá ter sido beneficiada, dada a variedade da sua dieta (Sadek, 1981), o seu comportamento oportunista (Almeida et al., 2001) e a ausência de predadores nativos. Recentemente, Matias et al. (2009) reportaram a predação de crias recém-nascidas de cagaras na Selvagem Grande por *T.d. selvagensis*. Esta interação biótica tem um impacto de 5% no sucesso reprodutor de *C. borealis*, mas não se sabe qual a influência que as lagartixas possam ter sob as outras aves marinhas nidificantes da ilha. Uma delas é *B. bulwerii* que, por apresentar dimensões mais reduzidas comparativamente com as cagaras (Monteiro et al., 1996), pode ser mais vulnerável à predação por parte das lagartixas. Um aumento descontrolado das populações de lagartixas poderá promover um impacto negativo no sucesso reprodutor das aves marinhas, ao longo do tempo.

De modo a compreender o nicho trófico ocupado e o comportamento predatório de lacertídeos, recorre-se tradicionalmente à análise de conteúdos estomacais ou intestinais (Pough et al., 2004). Apesar de fornecerem dados importantes, atualmente estas análises têm vindo a ser menos utilizadas por motivos éticos, uma vez que são metodologias que obrigam ao sacrifício dos indivíduos (Bekoff, 2007). Outros métodos alternativos têm vindo a ser utilizados, nomeadamente: a lavagem gástrica (Legler e Sullivan, 1979), a análise de dejetos (Capizzi, 1999; Hawlena e Pérez-Mellado, 2009; Pérez-Mellado et al., 2011) e até a observação direta do comportamento alimentar dos indivíduos (Sáez e Traveset, 1995). Para além das várias metodologias referidas, a utilização de isótopos estáveis tem demonstrado ser uma ferramenta muito útil na compreensão de cadeias tróficas nas últimas décadas (Tiezen e Boutton, 1989; Michener e Lajha, 2007; Coleman e Fry, 2012), uma vez que permite identificar as fontes de alimento (terrestre vs marinho), distinguir níveis tróficos e suportar ou complementar os resultados obtidos por outras metodologias (Michener e Lajha, 2007).

A análise de isótopos estáveis quantifica a abundância de átomos do mesmo elemento que diferem no número de neutrões (Michener e Lajha, 2007). Os isótopos mais utilizados neste tipo de estudo são os do carbono e do azoto (Michener e Lajha, 2007). O isótopo  $^{13}\text{C}$ , por exemplo, é mais abundante nos ecossistemas terrestres e de água doce do que nos ecossistemas marinhos. Assim, quando o rácio deste isótopo ( $\delta^{13}\text{C}$ ) em relação ao isótopo mais comum ( $^{12}\text{C}$ ) é mais próximo de zero significa que estamos perante uma amostra enriquecida em carbono de origem marinha (Kelly, 2000). O rácio do isótopo estável de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) reflete a posição do organismo na cadeia trófica e irá apresentar valores tão mais superiores quanto mais elevado for o seu nível trófico (Anderson e Polis, 1999; Kelly, 2000). A análise das cadeias tróficas recorrendo aos isótopos estáveis torna-se muito complexa e dispendiosa quando utilizada em ecossistemas complexos. Assim, as ilhas são um dos biomas mais estudados quando é utilizado este tipo de abordagem metodológica, uma vez que podem ser consideradas sistemas semifechados (Clegg e Owens, 2002 ; Rocha, Vrcibradic e Van Sluys, 2004; Caut et al.,

2012). Contudo, a variação da cobertura vegetal e da densidade de colónias de aves marinhas influenciam, não só as densidades das comunidades, como também as suas assinaturas isotópicas mesmo em diferentes áreas de uma ilha, pelo que é necessário ter em conta a variabilidade espacial (Caut et al., 2012).

Este estudo tem como principal objetivo caracterizar a teia trófica da Selvagem Grande associada a *T.d. selvagensis*. Para tal, pretende-se:

- Caracterizar e comparar a estrutura populacional das lagartixas em diferentes áreas da ilha e nas duas épocas distintas da nidificação de cagarras e de almas-negras (incubação dos ovos e período de alimentação das crias);
- Comparar a dieta das lagartixas nas diversas áreas e épocas através da análise de dejetos;
- Caracterizar e comparar o papel da lagartixa-da-Madeira na teia trófica das várias áreas nas duas épocas através da estimativa da contribuição das diferentes presas na dieta de *T.d. selvagensis*, utilizando isótopos estáveis.

Espera-se que os efetivos populacionais sejam maiores em áreas com maior cobertura vegetal e/ou com maiores colónias de aves marinhas. Espera-se também que o consumo de plantas ou de aves marinhas, estimado quer através da análise de dejectos, quer através da análise isotópica, dependa da disponibilidade destes dois recursos nas diferentes áreas da ilha. Finalmente espera-se contribuir para elucidar qual o papel do coberto vegetal no aumento do risco de predação de crias de aves marinhas.

## **2. Materiais e Métodos**

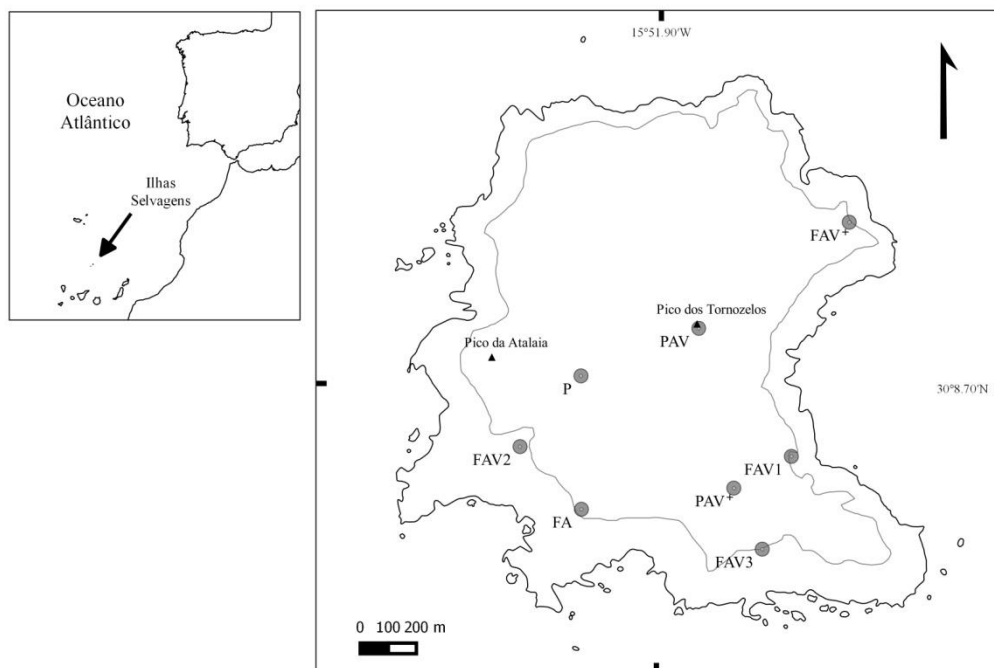
### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O clima das Ilhas Selvagens apresenta chuvas escassas e temperaturas médias anuais entre os 22°C e 28°C. Com uma área de cerca de 5 km<sup>2</sup> e uma altitude máxima de 163 m (Pico da Atalaia), a Selvagem Grande é a maior e a mais alta ilha do arquipélago. É de origem vulcânica, tal como as restantes, e apresenta um ecossistema essencialmente árido com falésias escarpadas. Acima das falésias há um planalto a cerca de 100 m acima do nível do mar, com uma extensão de aproximadamente 2 por 2 km.

Para uma amostragem das comunidades da Selvagem Grande foram escolhidas diferentes áreas da ilha de acordo com o tipo de relevo, a dimensão das colónias de aves marinhas e ainda a cobertura por vegetação. Na escolha destas áreas foram tidos em conta não só os principais locais de reprodução de *Calonectris borealis* (Tabela 2.1.1), que se assemelham aos de *Bulweria bulwerii*, mas também o estudo de Jardim e Sequeira (2008) que permitiu identificar as plantas existentes. Assim, resultaram 8 áreas distintas (Figura 2.1.1):

- Três áreas de Falésia com colónias de Aves marinhas e alguma Vegetação (FAV1, FAV2, FAV3);
- Uma área de Falésia com colónias de Aves marinhas e Vegetação abundante (FAV<sup>+</sup>);
- Uma área de Planalto com colónias de Aves marinhas e alguma Vegetação (PAV);
- Uma área de Planalto com colónias de Aves marinhas e Vegetação abundante (PAV<sup>+</sup>);
- Uma área de Falésia com colónias de Aves marinhas e pouca Vegetação (FA);
- Uma área de Planalto sem colónias de Aves marinhas e pouca Vegetação (P).

Não foram encontradas na ilha as restantes combinações possíveis.



**Figura 2.1.1** - Localização do arquipélago das Ilhas Selvagens no Atlântico Nordeste (canto superior esquerdo) e mapa da Selvagem Grande (à direita) com a localização das áreas de estudo. As siglas das áreas estão de acordo com: a sua topografia (F- falésia; P- planalto), a existência de ninhos de aves marinhas (A) e ainda a sua cobertura vegetal (V- alguma vegetação, V<sup>+</sup>- vegetação abundante). A linha a cinzento representa a curva de nível dos 80 m. Pico da Atalaia-163m; Pico dos Tornozeiros-137m. Para a produção do mapa foi utilizado o *software* QGIS 2.8 Wien.

Granadeiro et al. (2006) mostraram que a abundância de ninhos de *C. borealis* é variável ao longo da ilha, sendo as falésias os locais preferidos pelas cagaras (e também almas-negras; Granadeiro, *com. pess.*). A região Sul e Sudoeste da ilha é a área onde foram encontradas as maiores colónias de *C. borealis*. As áreas de estudo definidas neste trabalho podem ser separadas em 4 grupos, consoante o número de ninhos de *C. borealis*: áreas com menos de 500 ninhos (P), áreas com mais de 500 e menos de 1000 ninhos (FAV<sup>+</sup> e PAV<sup>+</sup>), áreas com mais de 1000 e menos de 2000 ninhos (FAV1 e PAV) e áreas com mais de 2000 ninhos (FAV2, FAV3 e FA) (Tabela 2.1.1). É de salvaguardar que os valores dos ninhos de cagaras apresentados são meramente indicativos no presente estudo uma vez que as áreas amostradas no estudo de Granadeiro et al. (2006) têm dimensões variáveis. Por outro lado, é de esperar que o número de ninhos tenha aumentado em todas as áreas com a recuperação do ecossistema que se verifica após a erradicação dos mamíferos.

**Tabela 2.1.1** - Número de ninhos de *Calonectris borealis* contados por Granadeiro et al., (2006), nas diversas áreas de estudo. As áreas foram dispostas por ordem crescente de número de ninhos.

Áreas de estudo	Número de ninhos de <i>Calonectris borealis</i>
P	436
FAV <sup>+</sup>	880
PAV <sup>+</sup>	870
FAV1	1136
PAV	1233
FAV2	2037
FAV3	2602
FA	2841

Os procelariformes, como a Cagarra e a Alma-negra, produzem apenas um ovo por época e nidificam em colónias (Hamer e Read, 1987; Giudici et al., 2010). Em ambas as espécies, os indivíduos chegam às colónias de reprodução em Março, ocorrendo as primeiras eclosões no início de Julho (Giudici et al., 2010). Durante o período de incubação os progenitores incubam alternadamente o ovo até ao nascimento da cria (Mougin, Jouanin e Roux, 1997). Os juvenis de *B. bulwerii* começam a abandonar os seus locais de reprodução em Setembro e os de *C. borealis* entre Setembro e Novembro (Mougin, Jouanin e Roux, 2000). A estratégia de alimentação adapta-se aos padrões de produtividade marinha, podendo ser bimodal (produtividade reduzida junto às colónias) (Granadeiro et al., 1998; Fernández et al., 2001; Baduini e Hyrenbach, 2003) ou unimodal (produtividade elevada junto às colónias) (Navarro e González-Solís, 2009). Na primeira estratégia, as aves alternam entre viagens curtas, com o intuito de capturar presas para as crias (associadas a áreas pouco produtivas), com viagens longas, que servem para os adultos se alimentarem de modo a reporem a sua condição física (relacionadas com áreas produtivas). As cagaras podem mesmo chegar a alimentar-se na costa Oeste de África quando realizam viagens longas (Paiva et al., 2010). As principais presas das cagaras são peixes pelágicos e cefalópodes, enquanto as das almas-negras são peixes mesopelágicos (Granadeiro, Monteiro e Furness, 1998; Neves, Nolf e Clarke, 2011).

O estudo foi realizado em dois períodos distintos de nidificação das cagaras e das almas-negras: o período de incubação dos ovos, de Junho a Julho de 2015 (doravante denominado Época 1) e o período de alimentação das crias, de Agosto a Setembro de 2015 (doravante denominado Época 2).

De modo a caracterizar a vegetação das áreas de estudo, realizou-se um transecto de 50 m em cada, registando-se as interseções de cada espécie de planta com o transecto. Foram contabilizadas as seguintes espécies arbustivas: *Chenopodium coronopus*, *Schyzogyne sericea* e *Suaeda vera* (espécies nativas) e *Lycopersicon esculentum* e *Solanum nigrum* (espécies invasoras). As restantes plantas foram enquadradas em “Outros Arbustos” ou em “Herbáceas”. A interseção com zonas sem vegetação foi contabilizada como “Solo nu”. Nos casos em que ocorreu uma interseção com mais do que uma espécie, todas foram registadas.

## 2.2 Estrutura populacional de *Teira dugesii selvagensis*

Os exemplares de *T.d. selvagensis* foram capturados com armadilhas. Foi colocado em cada uma das áreas um balde com isco fresco (ex. banana), com um acesso fácil para as lagartixas. O balde foi deixado durante, pelo menos, meia hora, durante a altura propícia para a atividade de répteis (períodos com alguma exposição solar). Quando no final do referido período o número de lagartixas foi inferior a 10 esperou-se mais 30 minutos. Num estudo preliminar, concluiu-se que a distância em redor da armadilha até à qual as lagartixas são atraídas pelo isco é de  $9,1 \pm 2,2$  m, não ocorrendo diferenças entre zonas de planalto e de falésia. Não foi possível amostrar todos os locais de estudo por questões logísticas, pelo que se optou por não realizar esta tarefa nas áreas PAV e FAV3. Para além disso, devido à extrema nebulosidade ao longo dos dias de amostragem nas áreas FAV<sup>+</sup> e FAV1 durante a Época 1, as capturas foram muito reduzidas e, como tal, os resultados não foram considerados.

Todos os indivíduos capturados foram medidos do focinho à cloaca (SVL) até à décima de mm. O sexo foi determinado pela presença de poros femorais bem desenvolvidos (Machos), pouco desenvolvidos (Fêmeas) ou ausentes (Juvenis). Foram considerados como “Sexo Indeterminado” os indivíduos nos quais a dimensão ( $50,0 > \text{SVL} < 52,0$  mm) e a observação dos poros não permitiram uma identificação conclusiva do sexo.

A abundância das lagartixas nas diferentes áreas nas duas épocas foi estimada com o método de captura-marcação-recaptura (Amstrup, McDonald e Manly, 2005). Os indivíduos foram capturados e marcados durante 3 dias consecutivos, à mesma hora. As marcações foram efetuadas com tinta corretora na zona dorsal. A tinta utilizada sai naturalmente ao fim de alguns dias com a muda de pele. No primeiro dia todos os exemplares foram marcados na cabeça e no segundo na região da inserção das patas posteriores. No final deste período, foi assim possível obter 7 “histórias de captura” diferentes.

Utilizando as diferentes “histórias de captura”, calculou-se uma estimativa populacional para cada área através da rotina POPAN-5 do programa MARK (Schwarz e Arnason, 1996). Para correr o modelo, foi necessário assumir as seguintes condições:

1. Todos os indivíduos da população têm a mesma probabilidade de serem capturados;
2. Os indivíduos marcados têm a mesma probabilidade de serem capturados do que os indivíduos não-marcados;
3. Os indivíduos marcados não perdem as marcas e estas não se confundem durante o período de amostragem;
4. Os períodos de amostragem são relativamente curtos;
5. Toda a emigração da população é permanente.

Dado que o período amostral foi muito curto (3 dias consecutivos), consideraram-se as populações de *T.d. selvagensis*, de cada área, como fechadas, ou seja, que a probabilidade de entrada de novos indivíduos na população foi nula. Assumiu-se também que as probabilidades de sobrevivência e de recaptura foram de 100% e constantes ao longo dos 3 dias.

### **2.2.1 Análise de dados**

Em todos os resultados, as áreas foram dispostas por ordem crescente, de acordo com a abundância de ninhos de *C. borealis*, provavelmente relacionadas também com os de *B. bulwerii*.

O *sex-ratio* foi calculado a partir da razão entre o número de Machos e o número de Fêmeas em cada área e nas diferentes épocas. O desequilíbrio no *sex-ratio*, nas diferentes áreas e épocas foi testado com um teste de  $\chi^2$ .

Para averiguar a existência de diferenças entre a dimensão (SVL) das lagartixas de cada sexo em cada uma das áreas e nas duas épocas foram realizados testes paramétricos *two-way*. Foram consideradas apenas as biometrias recolhidas na primeira captura. Todos os dados foram previamente analisados quanto à normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene). Foi utilizado o teste de Bonferroni como teste *a posteriori* (Zar, 2010). Ainda se realizou um teste *t* para averiguar as diferenças entre as dimensões de todos os Machos e de todas as Fêmeas entre épocas.

Foi realizado um teste  $\chi^2$  para comparar as proporções de Adultos (Machos + Fêmeas) e Imaturos (Juvenis + Indivíduos com Sexo Indeterminado) nas duas épocas nas diferentes áreas.

Os valores são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão e as análises estatísticas foram efetuadas no *software* STATISTICA 13. Foi utilizado um nível de significância de 5%.

## **2.3 Análise de dejetos de *Teira dugesii selvagensis***

Recolheram-se dejetos de lagartixas, em ambas as épocas, durante as sessões de amostragem relativas à “Estrutura populacional de *Teira dugesii selvagensis*”. Procedeu-se à sua recolha do fundo do balde e durante a manipulação dos exemplares.

Para a análise dos dejetos, os componentes foram classificados em 3 grandes grupos: Conteúdo Animal, Conteúdo Vegetal e Matéria Não Identificável. Os conteúdos animais mais frequentes foram ainda separados em Coleópteros, Formicídeos e Penas.

### **2.3.1 Análise de dados**

Os resultados obtidos são apresentados sob a forma de percentagem volumétrica (volume ocupado por cada componente em relação ao volume total de cada dejetos), para os diferentes tipos de conteúdo. Foram ainda calculadas para cada época as frequências de dejetos que continham penas e conteúdos vegetais.



## 2.4 Análise isotópica da teia trófica da Selvagem Grande

As amostras recolhidas em cada uma das áreas e épocas estão apresentadas na Tabela 2.1.2, tendo sido apenas coletadas num raio de 25m em redor da armadilha utilizada para a captura das lagartixas. Em relação ao material vegetal, foram recolhidas apenas as estruturas consumidas pelas lagartixas, ou seja os frutos e as flores (Sadek, 1981; Ferreira et al., 2016). Como complemento às amostras de penas de aves, foram também recolhidas, sempre que possível, gemas de ovos abandonados e parte de regurgitações das crias e/ou dos adultos de cagarra. O material reunido foi armazenado a -20°C, com a exceção das amostras não degradáveis (penas e solos), que foram armazenadas num local seco e fresco.

**Tabela 2.1.2** - Espécies animais e vegetais e amostras de solo recolhidas em cada local, nas diversas épocas e áreas da ilha. É também indicada a Família dos animais recolhidos, assim como o nível trófico presumível de todas as espécies.

Espécie (código usado nas Figuras 3.4.2 e 3.4.6)	Quantidade	Família (para os Animalia) e nível trófico
<i>Teira dugesii selvagensis</i> (Lagartixa)	10 caudas	Lacertidae: consumidor primário e secundário (omnívoros)
<i>Tarentola bischoffi</i> (Osga)	3 a 4 caudas	Gekkonidae: consumidor secundário (insetívoro)
Crias de <i>Calonectris borealis</i> (Cagarra – “Ave”)	3 penas	Procellariidae: consumidor secundário (piscívoro)
Crias de <i>Bulweria bulwerii</i> (Alma-negra – “Ave”)	3 penas	Procellariidae: consumidor secundário (piscívoro)
<i>Hegeter latebricola</i> Wollaston, 1854 (HI)	3 exemplares	Tenebrionidae: consumidor secundário (detritívoro)
<i>Monomorium subopacum</i> F. Smith, 1858 (Ms)	30 a 40 exemplares	Formicidae: consumidor primário e secundário (omnívoros)
<i>Chenopodium coronopus</i> (Cm)	3 conjuntos de bagas	Produtor nativo
<i>Suaeda vera</i> (Sv)	3 caules com frutos	Produtor nativo
<i>Lycopersicon esculentum</i> (Le)	3 frutos	Produtor invasor
<i>Solanum nigrum</i> (Sn)	5 frutos	Produtor invasor
<i>Schizogyne sericea</i> (Ss)	3 flores	Produtor nativo
Solo	5 amostras	-

No laboratório foi retirado para análise o tecido muscular das caudas de lagartixas e de osgas e a parte dos frutos que é digerível pela lagartixa (polpa). As penas foram limpas, sendo apenas utilizada parte das barbas. Os insetos foram as únicas amostras biológicas utilizadas *in totum*. Com exceção das amostras de répteis, as amostras de cada espécie em cada local de estudo foram misturadas; o valor resultante corresponde ao valor médio para esse local. Posteriormente, as amostras foram moídas até a obtenção de um pó e secas a 60°C durante 24h.

Para a leitura das assinaturas isotópicas foi necessário proceder à deslipidificação das amostras biológicas, uma vez que os ácidos gordos influenciam o resultado obtido nas análises isotópicas (Howland et al., 2003). Para tal, realizou-se uma sequência de lavagens com Clorofórmio-Metanol (2:1) seguida de centrifugação (4000 rpm, 2min). O processo foi repetido pelo menos duas vezes até se obter um sobrenadante translúcido. Por fim, o *pellet* foi novamente seco a 60°C (Bond e Jones, 2009).

Em relação às amostras de solo, foi realizado numa porção de cada amostra um teste de presença de carbonatos, que influenciam o valor do rácio isotópico de Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (DeNiro e Epstein, 1978;

Mateo et al., 2008). O teste consistiu na adição de 3 gotas de uma solução de ácido clorídrico a 10%. Após a verificação da reação, que ocorreu em todas as amostras, procedeu-se à divisão das mesmas. Uma metade não sofreu o processo de acidificação, tendo servido para a quantificação do rácio isotópico de Azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ). A segunda metade sofreu um processo de acidificação com a solução anteriormente referida, lavada com água destilada filtrada e posteriormente seca a 60°C, sendo o produto resultante analisado para o  $\delta^{13}\text{C}$  (Vinagre et al., 2008).

Posteriormente procedeu-se à secagem de todas as amostras durante 24h, à sua pesagem e encapsulamento em estanho. As análises da razão de isótopos estáveis foram levadas a cabo no CRIE (Centro de Recursos em Isótopos Estáveis) do Centro de Ecologia, Evolução e Alterações Ambientais (CE3C) da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  foram determinados por espectrometria de massa de razão de isótopos estáveis, em modo de fluxo contínuo (CF-IRMS) (Preston e Owens, 1983). O processo ocorreu num espectrómetro de massa *Sercon Hydra 20-22* (Sercon, Reino Unido), acoplado a um Analisador Elementar *EuroEA* (EuroVector, Itália), que efetua a preparação automática das amostras por combustão de Dumas. Foram utilizados os materiais de referência *Protein Standard OAS* (Elemental Microanalysis, Reino Unido), *Sorghum Flour Standard OAS* (Elemental Microanalysis, Reino Unido) e *IAEA-NI* (IAEA, Vienna, Austria) para amostras animais e de solo, e *Sorghum Flour Standard OAS* e *Wheat Flour Standard OAS* (Elemental Microanalysis, Reino Unido) para amostras vegetais. Nas determinações da razão isotópica de Azoto e de Carbono os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  apresentam-se na escala determinada pelo *Pee Dee Belemnite* (PDB), enquanto os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se reportam ao Ar atmosférico. A precisão das análises, calculada a partir de 6 a 9 réplicas de padrões de laboratório, intercaladas em cada conjunto de análises, foi igual ou inferior a 0.2‰. As proporções de Carbono e de Azoto das amostras foram calculadas a partir das composições elementares de C e N, sendo que os padrões *Sorghum Flour Standard OAS* e *Wheat Flour Standard OAS* foram os materiais de referência para as amostras vegetais e o padrão *Sorghum Flour Standard OAS* para amostras animais e de solo.

O rácio isotópico ( $\delta$ ) foi calculado através da razão isotópica entre o isótopo pesado (massa molar maior) e o isótopo leve (massa molar menor) segundo a fórmula descrita em (Michener e Lajtha, 2007).

#### **2.4.1 Análise de dados**

De modo a verificar a variabilidade isotópica dos solos da ilha foi produzido um gráfico bidimensional, com os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , para as amostras de solo. Para caracterizar as cadeias tróficas, produziram-se gráficos bidimensionais, com os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  de cada espécie e/ou grupo funcional, para as diferentes áreas amostradas, nas duas épocas. Considerou-se cada área em separado, uma vez que as assinaturas isotópicas foram muito diferentes entre áreas, mesmo quando realizada uma standardização. As únicas amostras para as quais foi possível calcular um desvio-padrão foram as de lagartixas, de osgas, e das aves marinhas. Para as aves, o cálculo foi realizado agrupando as assinaturas isotópicas de todas as amostras (penas, gemas de ovos e regurgitações) de todas as áreas e épocas.

Para comparar o nível trófico das lagartixas com o das osgas foram realizados 16 testes *t* (1 para cada área por época). Foram realizadas correlações de Pearson (*r*) para avaliar a relação entre  $\delta^{15}\text{N}$  das

lagartixas com a sua dimensão (SVL) para cada área e para cada uma das épocas (Zar, 2010). Estas duas análises foram efetuadas no *software* STATISTICA 13, com um nível de significância de 5%.

De modo a avaliar a variação do nicho isotópico ocupado pelas lagartixas entre as duas épocas nas diferentes áreas, utilizou-se o pacote SIBER – *Stable Isotope Bayesian Ellipses in R* (Jackson et al., 2011) do *software* R (R Core Team, 2014). Foram calculadas, para cada área e época de estudo, as seguintes métricas isotópicas: área total do nicho ocupada (TA) e área da elipse-padrão corrigida (SEAc). A primeira variável é definida como a área do polígono formado pelas coordenadas isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ -  $\delta^{15}\text{N}$ ) dos componentes mais extremos, permitindo representar a diversidade trófica dessa mesma teia trófica. Já a segunda consiste na área da elipse que contém 40% dos pontos e produz uma estimativa do tamanho do nicho isotópico ocupado, pelo que é utilizada para comparar nichos entre espécies ou entre locais e/ou períodos diferentes para a mesma espécie (Layman et al., 2012). Correiu-se o modelo com 100 000 iterações. Calculou-se, para cada área, a percentagem de sobreposição entre as SEAc das lagartixas entre as duas épocas, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Equação 2.4.1 - \% sobreposição} = \left[ \frac{S}{(A-S)+B} \right] \times 100$$

onde A e B representam as áreas da elipses-padrão corrigidas nas duas épocas e S a área de sobreposição de ambas.

Por fim, a contribuição relativa das potenciais fontes de alimento para as lagartixas em cada área e época foi calculada com o pacote SIAR – *Stable Isotope Analysis in R* (Parnell et al., 2010) do *software* R (R Core Team, 2014), usando os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  dos diferentes componentes da sua dieta. Este modelo bayesiano permite estimar as probabilidades de contribuição das várias fontes da dieta de um consumidor, tendo em conta: as assinaturas isotópicas das fontes, as suas concentrações em carbono e azoto e os fatores de fracionamento. Para todas as possíveis dietas vegetais e animais foi considerado um fator de fracionamento de  $0,4 \pm 1,3\text{‰}$  para o  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $3,4 \pm 1,0\text{‰}$  para o  $\delta^{15}\text{N}$  (Post, 2002). Escolheu-se um número de 500 000 iterações para correr o modelo misto. O modelo apenas permite utilizar até  $n+2$  dietas, sendo  $n$  o número de isótopos utilizados na análise. Assim, correu-se o modelo com três dietas diferentes na Época 1 (“HI”, “Ms” e “Produtores”). Já na Época 2, para além das dietas anteriores, foi ainda analisada a dieta “Aves”. Os resultados foram apresentados sob a forma de diagramas-de-caixa, para cada área e para cada época, com intervalos de confiança de 50%, 70% e 95%.

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O grupo mais abundante é o das “Herbáceas”, seguido de *S. vera*, *S. sericea*, “Outros Arbustos”, *C. coronopus* e *L. esculentum*. De todas as áreas, a área PAV<sup>+</sup> é a que tem uma maior cobertura vegetal, superior a 50%. Contrariamente, nas áreas FA e P a vegetação é escassa (< 20%). *L. esculentum* ocorreu apenas pontualmente na área FAV<sup>+</sup> (Fig.3.1.1). Apesar de não terem sido observados nos transectos, *S. nigrum* ocorre na área FAV<sup>+</sup> e *L. esculentum* ocorre também nas FAV3, PAV e PAV<sup>+</sup>.

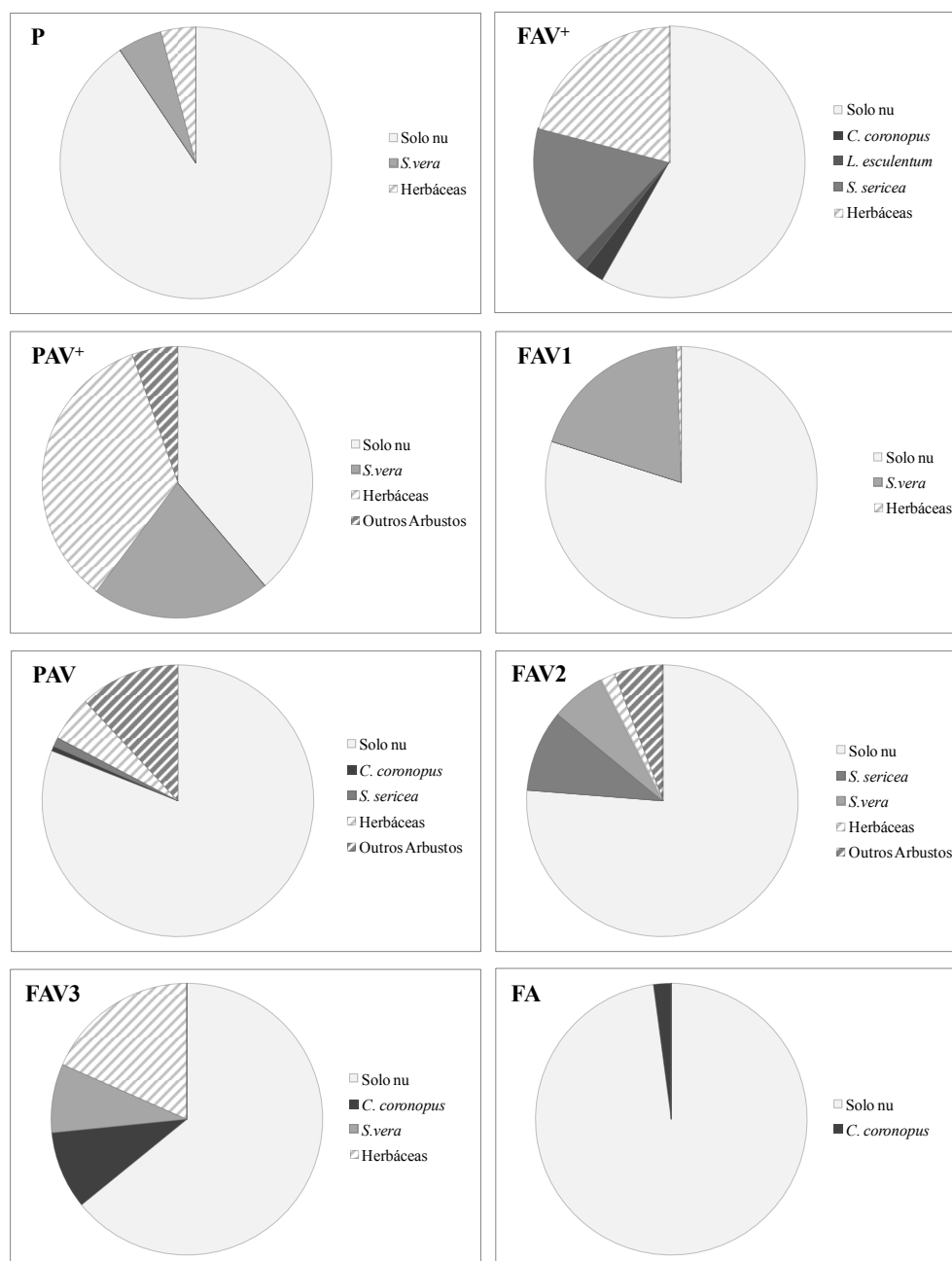


Figura 3.1.1 - Percentagem de cobertura vegetal das diferentes espécies e grupos funcionais nas diversas áreas de estudo.

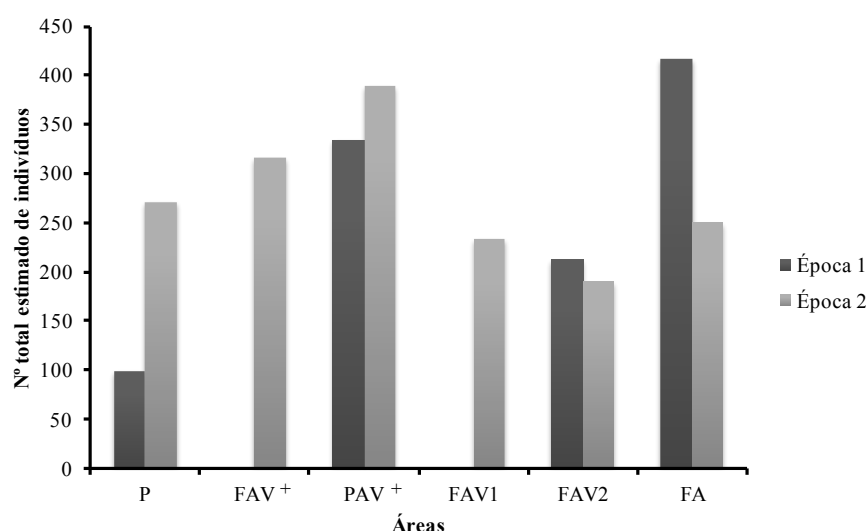
### 3.2 Estrutura populacional de *Teira dugesii selvagensis*

O efetivo estimado para cada local variou entre locais e épocas, sem uma relação clara com o tamanho das colônias de aves. No entanto, com uma exceção, os locais com maior abundância de lagartixas corresponderam às zonas mais vegetadas (FAV<sup>+</sup> e PAV<sup>+</sup>). Nas 4 áreas onde foi possível comparar as duas épocas verificaram-se valores semelhantes em duas (PAV<sup>+</sup> e FAV2), uma redução em FA e um aumento em P da Época 1 para a Época 2 (Tabela 3.2.1 e Figura 3.2.1).

Na Época 1 capturaram-se mais lagartixas na área FA, seguida de PAV<sup>+</sup> e FAV2. Já na Época 2 os maiores efetivos foram encontrados nas áreas PAV<sup>+</sup>, seguido de FAV<sup>+</sup> e P.

**Tabela 3.2.1** - Número total de indivíduos de *Teira dugesii selvagensis*, recapturados e não recapturados, e efetivo populacional estimado, nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem. Na Época 1 não foi possível estimar valores em duas áreas (FAV<sup>+</sup> e FAV1).

	Época 1			Época 2		
	Nº total não recapturados	Nº total recapturas	Nº total estimado	Nº total não recapturados	Nº total recapturas	Nº total estimado
P	80	9	99	213	28	271
FAV <sup>+</sup>	47	6	-	284	16	316
PAV <sup>+</sup>	250	40	334	278	52	389
FAV1	45	4	-	194	20	234
FAV2	175	18	212	166	22	190
FA	283	62	417	166	39	249



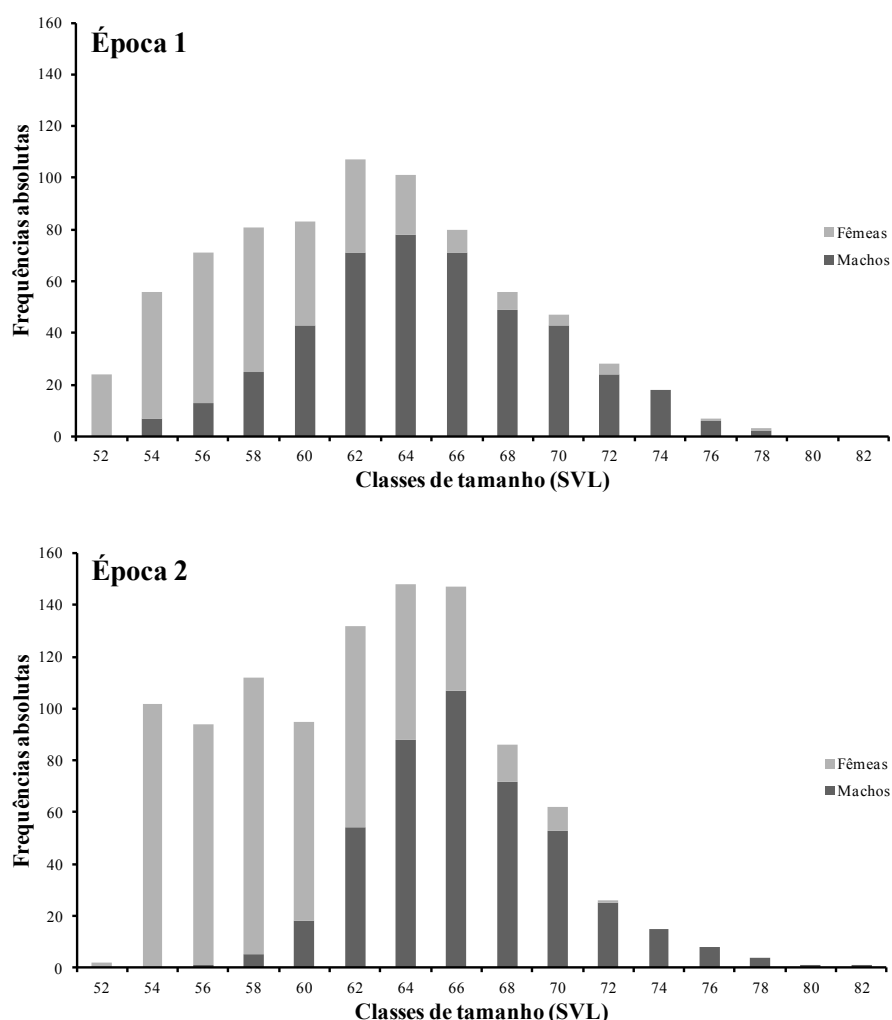
**Figura 3.2.1** - Número total de indivíduos estimados de *Teira dugesii selvagensis* nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem.

Houve uma diminuição na proporção de machos da Época 1 para a Época 2. Na Época 1, o número de machos foi significativamente superior nas áreas com maiores abundâncias - PAV<sup>+</sup> e FA (teste  $\chi^2$ :  $\chi_1^2 = 6,632$ ;  $P = 0,001$ ;  $\chi_1^2 = 35,446$ ;  $P < 0,0001$ ). Na Época 2 o efetivo das fêmeas foi maior nas áreas com menores abundâncias - P, FAV1 e FAV2 (teste  $\chi^2$ :  $\chi_1^2 = 8,881$ ;  $P = 0,002$ ;  $\chi_1^2 = 5,596$ ;  $P = 0,018$ ;  $\chi_1^2 = 8,810$ ;  $P = 0,003$ ). A área FAV<sup>+</sup> foi a única onde não houve diferenças nos *sex-ratio* em ambas as épocas de estudo (Tabela 3.2.2).

**Tabela 3.2.2** - Número total de lagartixas de cada sexo capturadas durante os 3 dias: Machos (M), Fêmeas (F), e *sex-ratio* (M:F), nas várias áreas da ilha, nas duas épocas de amostragem. O asterisco indica diferenças significativas ( $\chi^2$ :  $P < 0,05$ ).

	Época 1			Época 2		
	M	F	M:F	M	F	M:F
P	40	31	1,29	78	114	0,68 *
FAV <sup>+</sup>	16	17	0,94	96	118	0,81
PAV <sup>+</sup>	164	78	2,10 *	117	145	0,81
FAV1	24	15	1,60	68	96	0,71 *
FAV2	69	64	1,08	29	52	0,56 *
FA	137	108	1,27 *	64	58	1,10

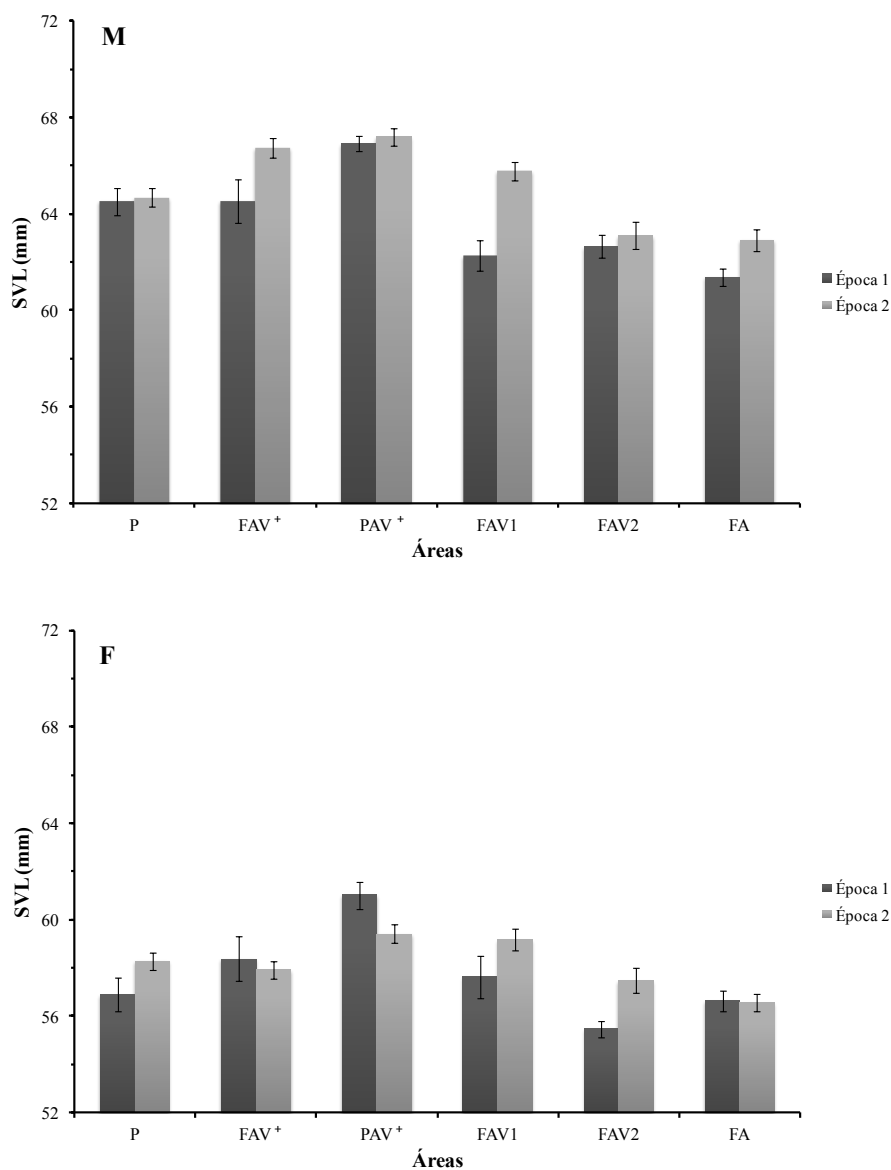
O tamanho corporal mais frequente entre as lagartixas adultas na Época 1 correspondeu à classe de 62 mm e, na Época 2, às classes de 64 e 66 mm (Figura 3.2.2). Os machos apresentaram maiores dimensões médias que as fêmeas no total da amostra (teste  $t$ :  $t_{1796} = -32,38$ ;  $P < 0,0001$ ). Houve um incremento notável no efetivo de algumas das classes mais pequenas (entre 54 e 58mm) na Época 2. No entanto a classe de 52 mm diminuiu da Época 1 para a Época 2.



**Figura 3.2.2** - Distribuição de tamanhos (SVL) de *Teira dugesii selvagensis* (Machos e Fêmeas) na Época 1 (em cima) e na Época 2 (em baixo).

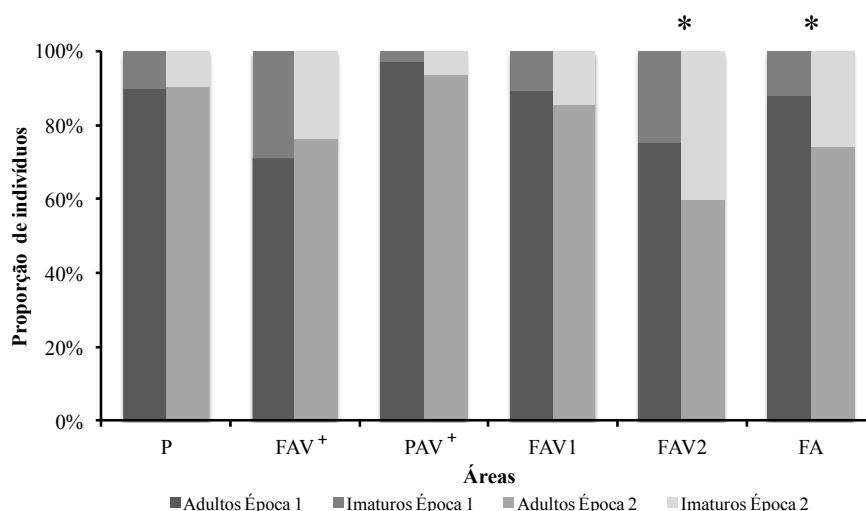
Em ambos os sexos, os maiores indivíduos foram encontrados na área do planalto mais vegetada (PAV<sup>+</sup>) (Figura 3.2.3, valores dos testes *post-hoc* no Anexo 3.2.1). As lagartixas mais pequenas foram encontradas em áreas de falésia com menos vegetação (FAV2 e FA). Não houve diferenças

significativas na dimensão das fêmeas entre épocas em nenhuma das áreas de estudo (Anexo 3.2.1). Verificou-se um aumento significativo de tamanho dos machos, entre épocas, na área FAV1 (valores dos testes *post-hoc* no Anexo 3.2.1).



**Figura 3.2.3** - Dimensão média de *Teira dugesii selvagensis* nas diferentes áreas da Selvagem Grande, nas duas épocas de estudo, segundo o sexo: Machos (M) e Fêmeas (F). Os valores estão apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

A proporção de Imaturos foi superior na Época 2 (18%) quando comparada com a Época 1 (13%), apenas diminuindo da Época 1 para a Época 2 em duas áreas: FAV<sup>+</sup> e P (Figura 3.2.4). A maior proporção de Imaturos foi registada em duas áreas de falésia com pouca vegetação, localizadas nas zonas Sul e Sudoeste da ilha (FAV2 e FA) (teste  $\chi^2$ :  $\chi^2_3 = 8,803$ ;  $P = 0,032$ ;  $\chi^2_3 = 15,729$ ;  $P = 0,001$ ). Estas áreas correspondem também a duas das três zonas com mais ninhos de cagaras (Tabela 2.1.1). Por outro lado, nas áreas de maior cobertura vegetal, onde os efetivos de lagartixas são mais elevados, a percentagem de imaturos é reduzida (Figuras 3.1.1, 3.2.1 e 3.2.4).



**Figura 3.2.4** - Proporção de indivíduos de *Teira dugesii selvagens* nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem, categorizadas pelo seu estágio: Adultos e Imaturos (Juvenis + Indivíduos com Sexo Indeterminado). O asterisco indica diferenças significativas entre épocas ( $\chi^2$ :  $P < 0,05$ ).

### 3.3 Análise de dejetos de *Teira dugesii selvagens*

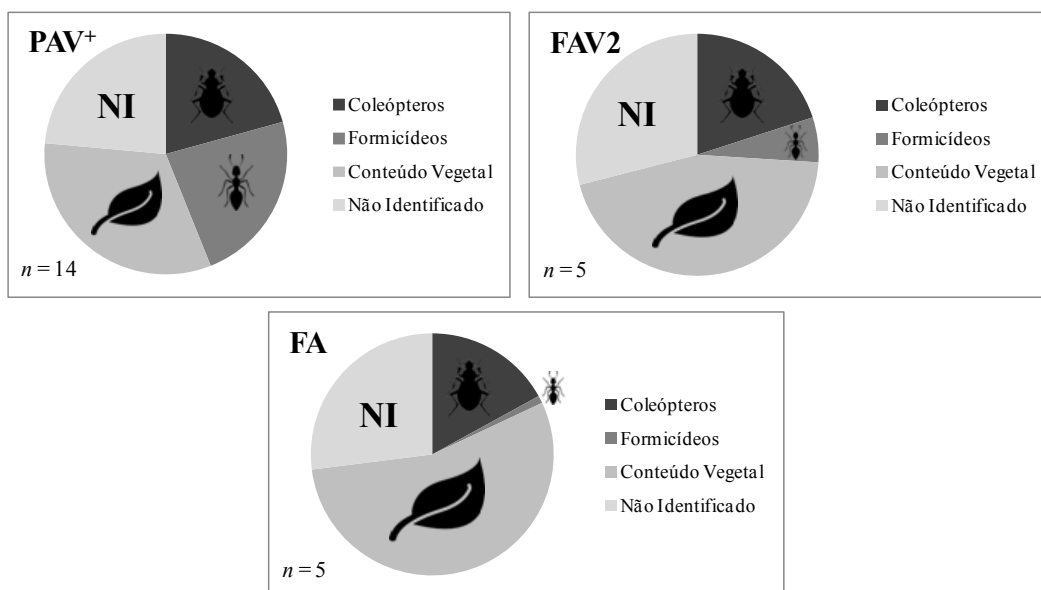
Apenas foi possível coletar dejetos nas áreas PAV<sup>+</sup>, FAV2 e FA na Época 1, enquanto na Época 2, para além das áreas anteriormente referidas, ainda foram recolhidos nas áreas FAV<sup>+</sup> e FAV1.

Na Época 1 houve uma maior percentagem de matéria vegetal nos dejetos recolhidos em todas as áreas amostradas, ultrapassando os 30%. Ainda nesta época, a proporção de Coleópteros foi superior à de Formicídeos, com a exceção da área PAV<sup>+</sup>, onde a diferença entre estas classes foi quase nula (Figura 3.3.1).

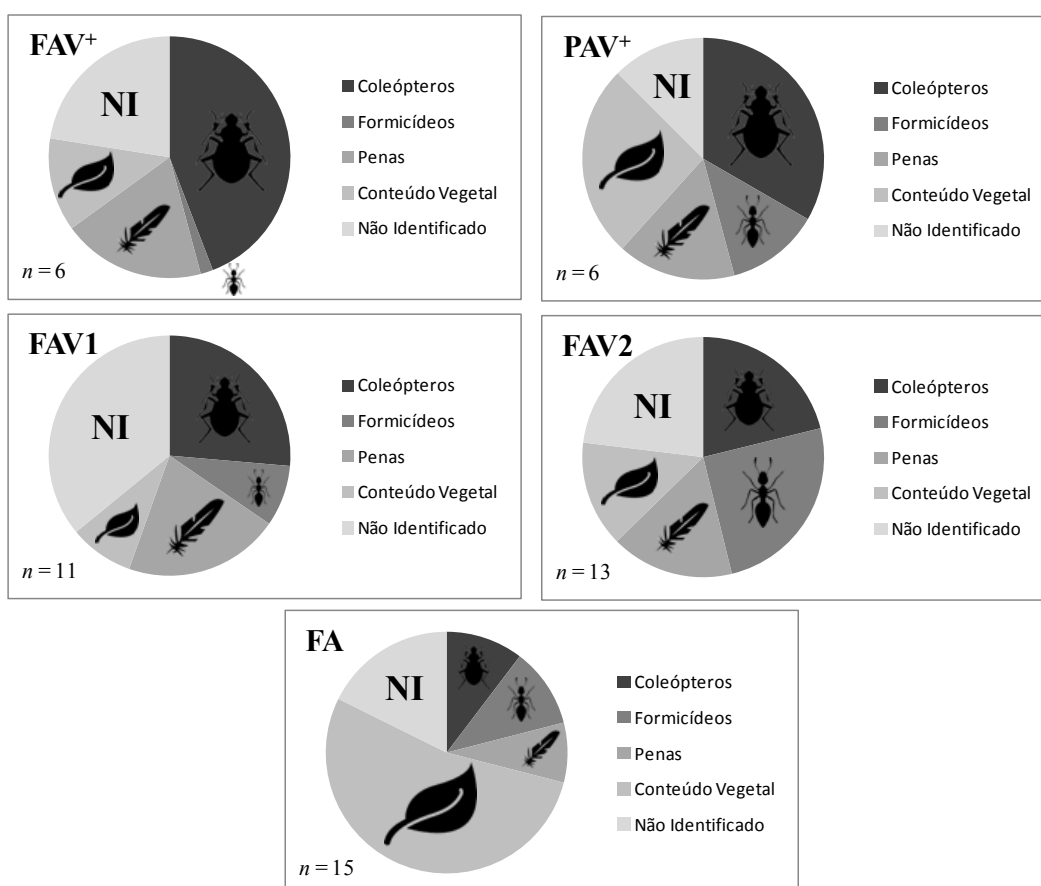
Apenas na Época 2 ocorreram penas nos dejetos, tendo sido observadas em todas as áreas. Foram observadas penas em 21 dos 51 dejetos recolhidos, onde todas as penas recuperadas pertenciam a crias. No segundo período de estudo a área FA foi a única em que a proporção de vegetação foi superior à das restantes classes. A maior proporção de Coleópteros em relação aos Formicídeos mantém-se da Época 1 para a 2, com exceção da área FAV2 (Figura 3.3.2).

A percentagem de dejetos com conteúdos vegetais diminuiu entre as duas épocas (de 79% para 63%). Houve um aumento no conteúdo de origem animal nos dejetos das áreas PAV<sup>+</sup> e FAV2. Na área FA não ocorreram grandes diferenças entre épocas.





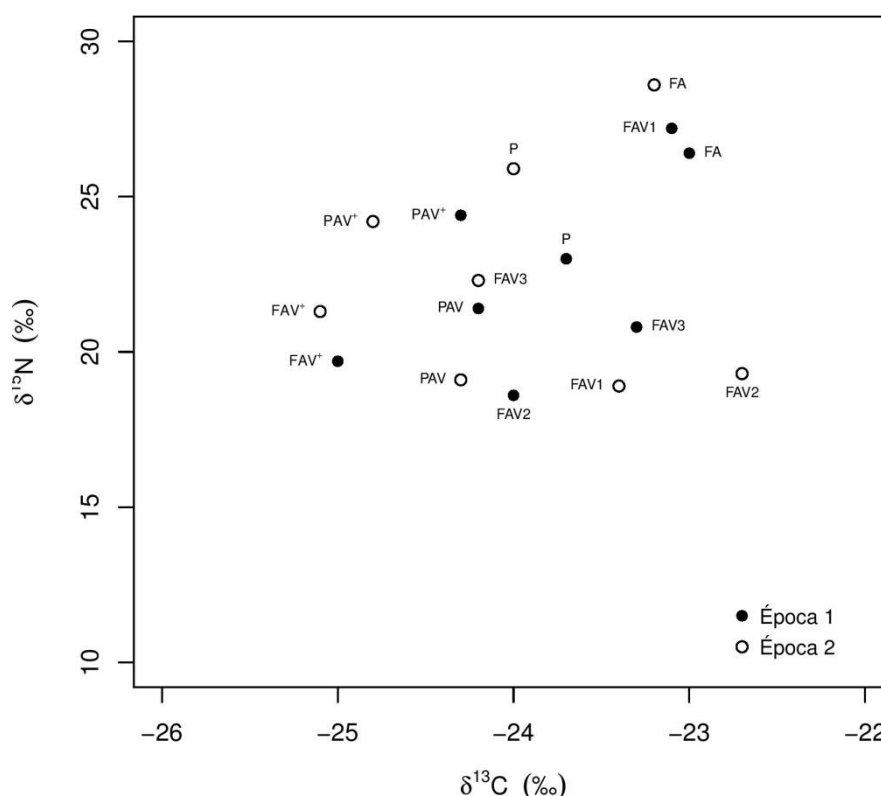
**Figura 3.3.1** - Percentagem volumétrica dos diferentes componentes dos dejetos de *Teira dugesii selvagensis*, nas diferentes áreas na Época 1 ( $n$  = tamanho amostral). (🐞) Coleópteros; (🐜) Formicídeos; (🌿) Conteúdo Vegetal; (NI) Não Identificado.



**Figura 3.3.2** - Percentagem volumétrica dos diferentes componentes dos dejetos de *Teira dugesii selvagensis*, nas diferentes áreas na Época 2 ( $n$  = tamanho amostral). (🐞) Coleópteros; (🐜) Formicídeos; (🪶) Penas; (🌿) Conteúdo Vegetal; (NI) Não Identificado.

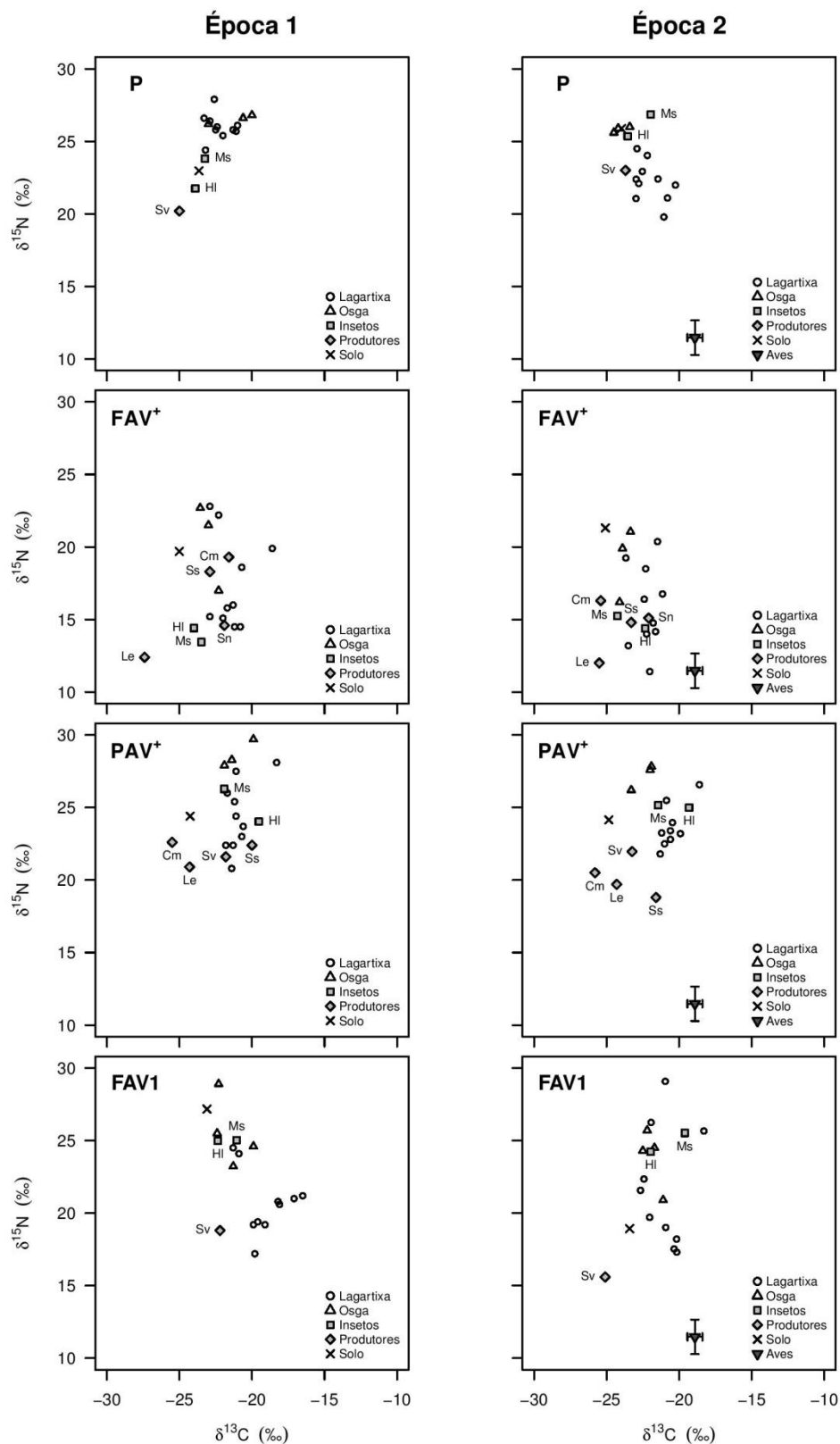
### 3.4 Análise isotópica da teia trófica da Selvagem Grande

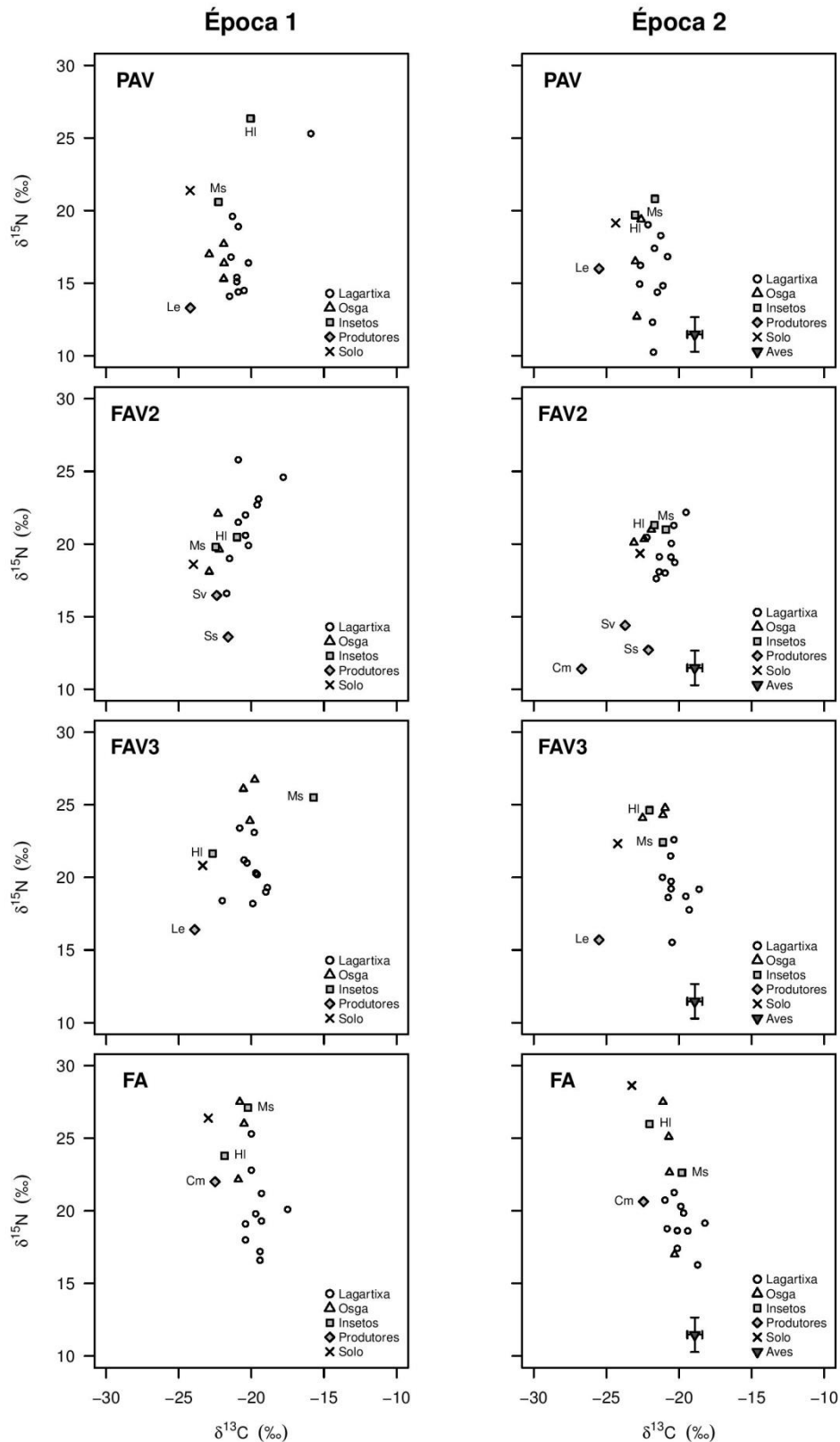
As amostras de solo tiveram assinaturas isotópicas muito distintas. As assinaturas isotópicas de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) aumentaram da Época 1 para a 2 na maior parte das áreas. No entanto, nas áreas FAV1 e PAV a assinatura de  $\delta^{15}\text{N}$  diminuiu entre as duas épocas, sendo que, nas áreas PAV<sup>+</sup> e FAV2 se manteve quase constante. Em relação às assinaturas isotópicas de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), cujo aumento indica a chegada de carbono de origem marinha, houve pouca variação para a maioria das áreas. O maior desvio ocorreu na falésia FAV2, virada a sul, onde houve um grande aumento nesta assinatura (Figura 3.4.1).



**Figura 3.4.1** - Coordenadas isotópicas das diferentes amostras de solos coletadas na Selvagem Grande, nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem.

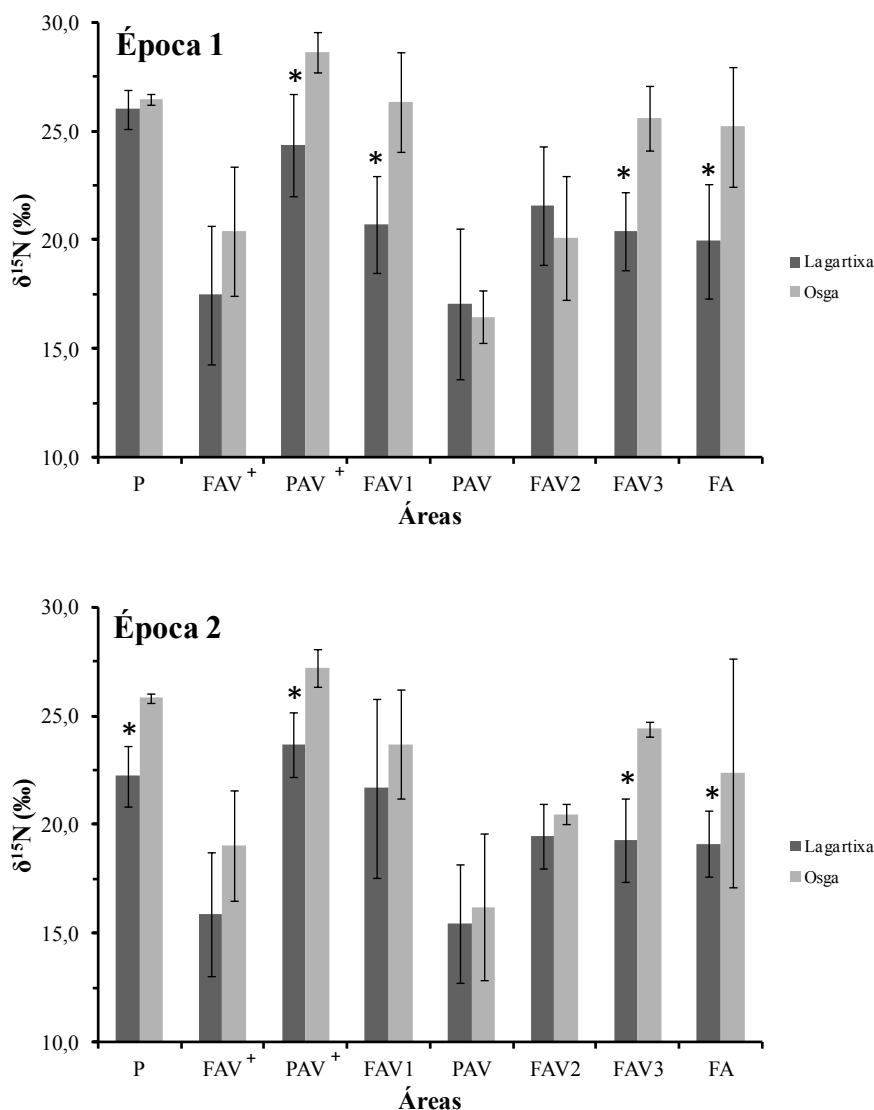
Quanto às coordenadas isotópicas dos vários componentes da teia trófica da Selvagem Grande, ocorreu de um modo geral um enriquecimento de carbono e um empobrecimento de azoto, da Época 1 para a Época 2. Os produtores apresentam assinaturas distintas dos animais, com exceção das áreas FAV<sup>+</sup> e PAV<sup>+</sup>, na Época 1, e P e FAV<sup>+</sup> na Época 2. As assinaturas em  $\delta^{15}\text{N}$  dos répteis tenderam a ser mais elevadas na Época 1 do que na Época 2. De um modo geral, os tenebrionídeos (HI) e os formicídeos (Ms) estão próximos da nuvem de pontos definida pelas osgas e lagartixas. Para além dos componentes referidos, as assinaturas isotópicas das lagartixas das áreas de planalto com pouca vegetação (P e PAV) tenderam a ser similares as das Aves na Época 2 (Figura 3.4.2).





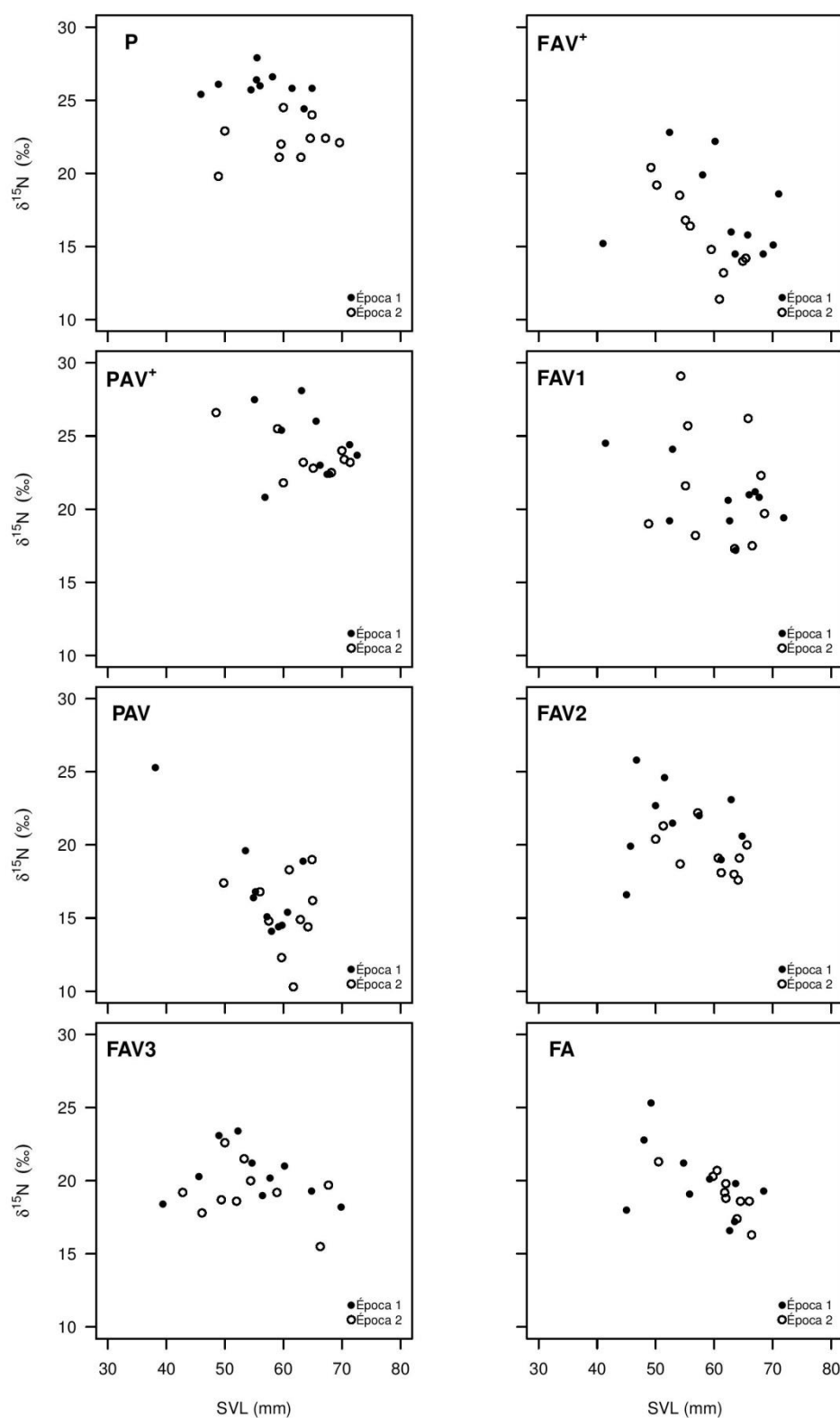
**Figura 3.4.2** - Coordenadas isotópicas dos vários componentes da teia trófica da Selvagem Grande, nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem: Lagartixa - *Teira dugesii selvagensis*; Osga - *Tarentola bischoffi*; Insetos - *Hegeter latebricola* (HI) e *Monomorium subopacum* (Ms); Produtores: *Chenopodium coronopus* (Cm), *Lycopersicon esculentum* (Le), *Solanum nigrum* (Sn), *Schyzogyne sericea* (Ss), *Suaeda vera* (Sv); Solo; Aves – média das assinaturas de penas de crias, ovos e restos de regurgitações de *Calonectris borealis* e *Bulweria bulwerii*, de todas as áreas. Os valores estão apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Quando comparadas as duas espécies de répteis existentes na ilha, as assinaturas isotópicas de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ), de um modo geral, diminuíram entre as épocas em ambas as espécies (Figura 3.4.3). Na Época 1, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das osgas foram significativamente superiores, em comparação com as lagartixas, nas áreas PAV<sup>+</sup>, FAV1, FAV3 e FA (resultados dos testes *t* no Anexo 3.2.2). Na Época 2 essas diferenças foram evidentes nas áreas P, PAV<sup>+</sup>, FAV3 e FA (resultados dos testes *t* no Anexo 3.2.2).



**Figura 3.4.3** - Assinaturas isotópicas médias de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) de *Teira dugesii selvagensis* (Lagartixa) e *Tarentola bischoffi* (Osga), nas diversas áreas da ilha, na Época 1 (em cima) e na Época 2 (em baixo). Os valores estão apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão. O asterisco indica diferenças significativas (teste *t*:  $P < 0,05$ ).

Ao relacionar a dimensão (SVL) das lagartixas com a sua assinatura de  $\delta^{15}\text{N}$ , foi possível detetar uma relação inversamente proporcional em ambas as épocas. No primeiro período de estudo, apenas na área PAV houve uma correlação significativa negativa (correlação de Pearson:  $r = -0,803$ ;  $n = 10$ ;  $P = 0,005$ ), enquanto no segundo período de estudo, houve correlações negativas significativas nas áreas FAV<sup>+</sup> e FA (correlação de Pearson:  $r = -0,881$ ;  $n = 10$ ;  $P = 0,001$ ;  $r = -0,788$ ;  $n = 10$ ;  $P = 0,007$ ) (Figura 3.4.4).



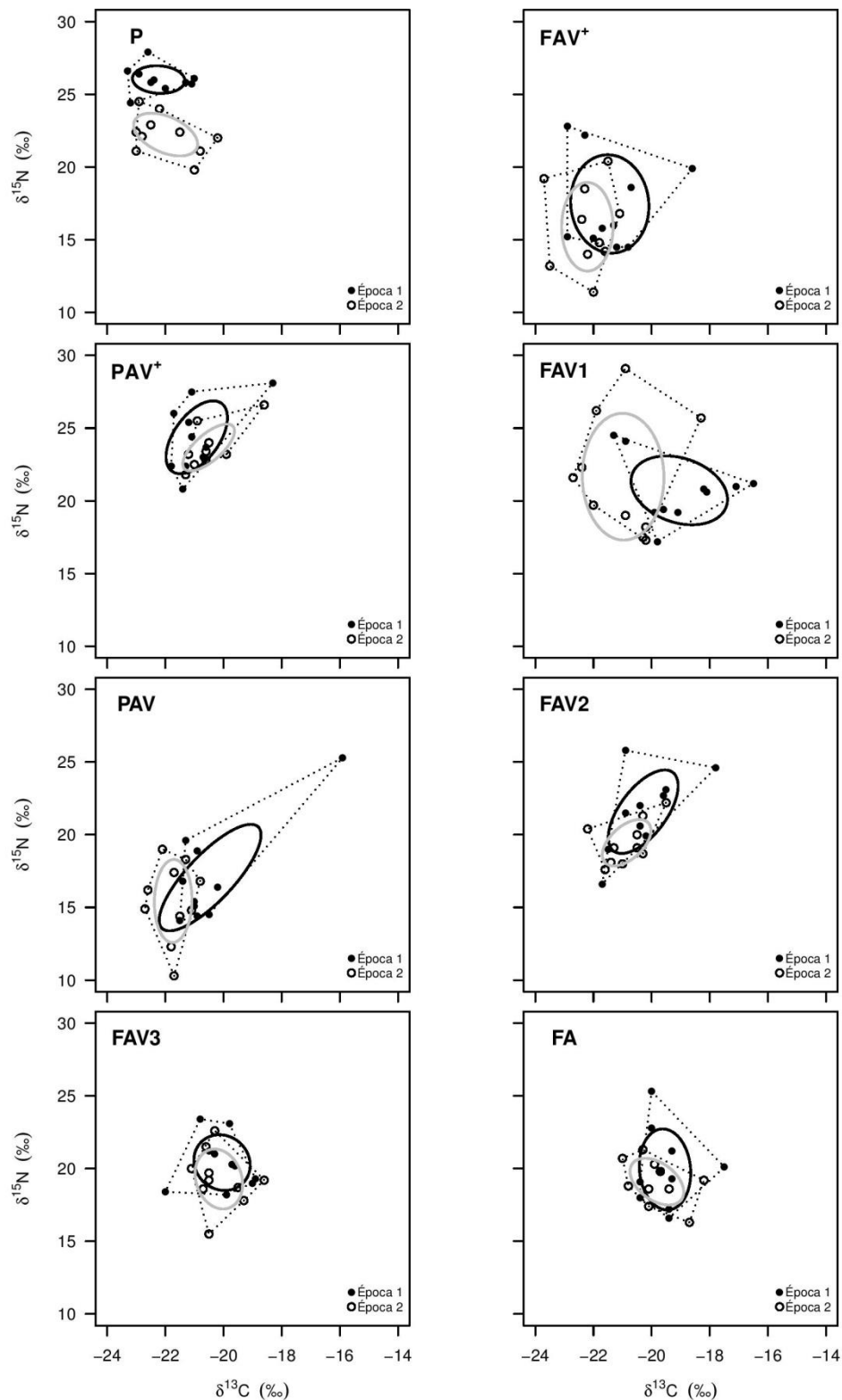
**Figura 3.4.4** - Relação entre a dimensão dos indivíduos de *Teira dugesii selvagensis* amostrados e a sua assinatura isotópica de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ), nas diversas áreas da ilha e nas duas épocas de amostragem.

Em relação às áreas totais dos nichos isotópicos ocupados (TA) e das elipses-padrão corrigidas (SEAc) das lagartixas, observou-se uma diminuição da Época 1 para a Época 2, indicando uma diminuição da

diversidade trófica. As exceções foram uma área de falésia (FAV1) e outra de planalto (P), onde se observou um incremento. A percentagem de sobreposição entre as elipses das duas épocas foi superior nas áreas FAV3 e FA, seguida das áreas FAV<sup>+</sup> e PAV<sup>+</sup>. Na área P não houve sobreposição das elipses, indicando uma mudança completa de nicho isotópico entre épocas (Tabela 3.4.1, Figura 3.4.5).

**Tabela 3.4.1** - Valores das áreas totais dos nichos ocupadas (TA) e das elipses-padrão corrigidas (SEAc) para *Teira dugesii selvagensis* nas diferentes áreas da ilha e na duas épocas. A sobreposição das elipses nas duas épocas é apresentada sobre a forma percentual (%). O traço representa uma sobreposição nula.

	Época 1		Época 2		% Sobreposição
	SEAc	TA	SEAc	TA	
P	2,679	4,530	4,546	7,700	-
FAV <sup>+</sup>	14,264	22,920	8,457	16,620	29,5
PAV <sup>+</sup>	7,024	11,875	3,187	5,600	28,6
FAV1	11,891	15,045	19,198	29,405	11,8
PAV	12,076	18,760	5,792	9,255	21,2
FAV2	8,151	14,780	3,559	6,225	24,8
FAV3	5,787	10,325	5,206	8,990	44,2
FA	7,701	13,465	4,183	8,140	42,6



**Figura 3.4.5** - Áreas totais dos nichos isotópicos ocupadas (TA) (a tracejado) e das elipses-padrão corrigidas (SEAc) (a contínuo) de *Teira dugesii selvagensis* nas diferentes áreas da ilha, na Época 1 (preto) e na Época 2 (cinzento).

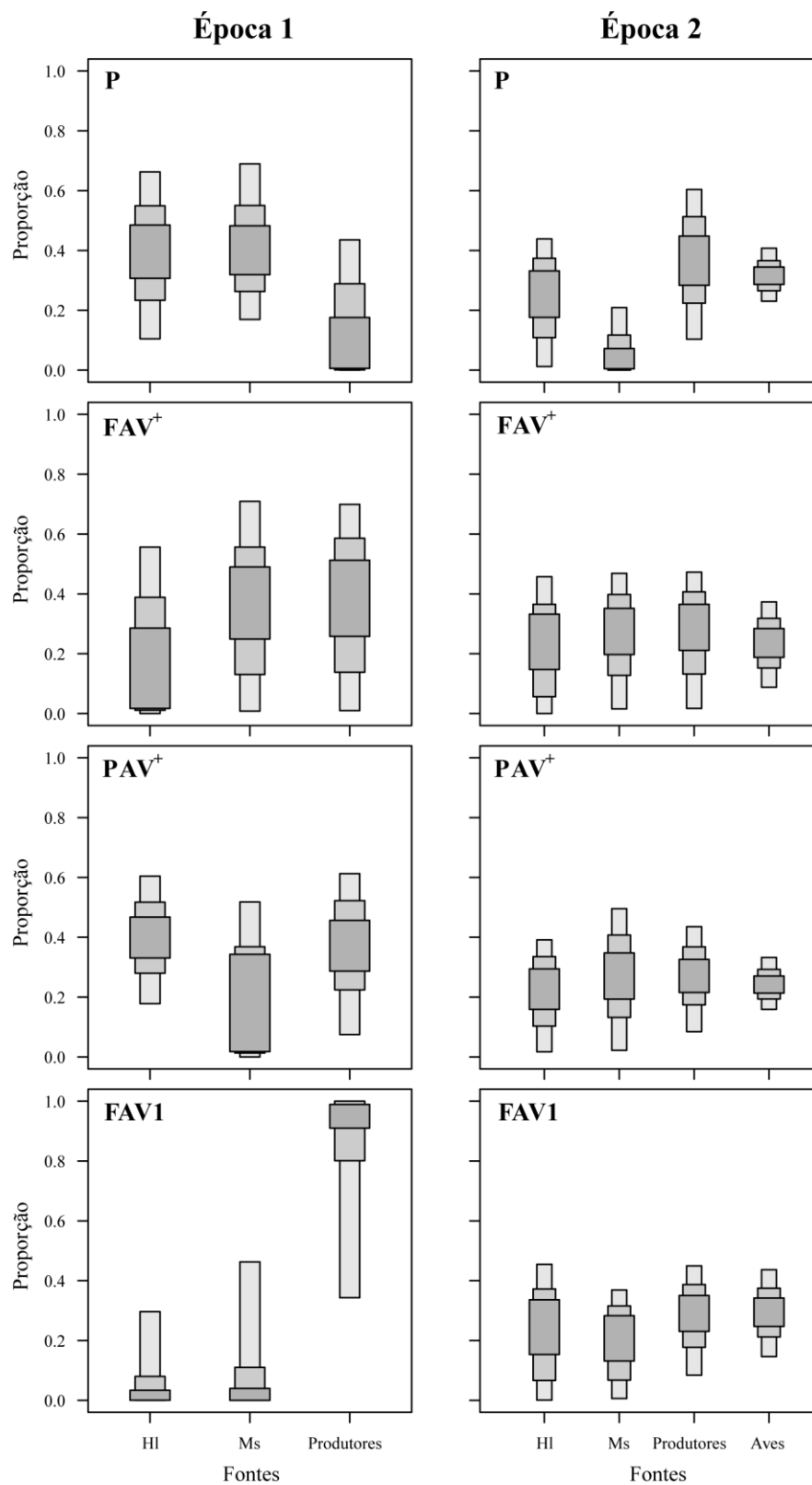
Em relação à contribuição dos vários itens para a dieta das lagartixas, na Época 1, nas áreas de planalto e falésia com muito pouca vegetação (P, PAV e FA), a contribuição dos insetos (tenebrionídeos e formicídeos) foi mais elevada. Em todas as outras áreas a contribuição dos insetos e

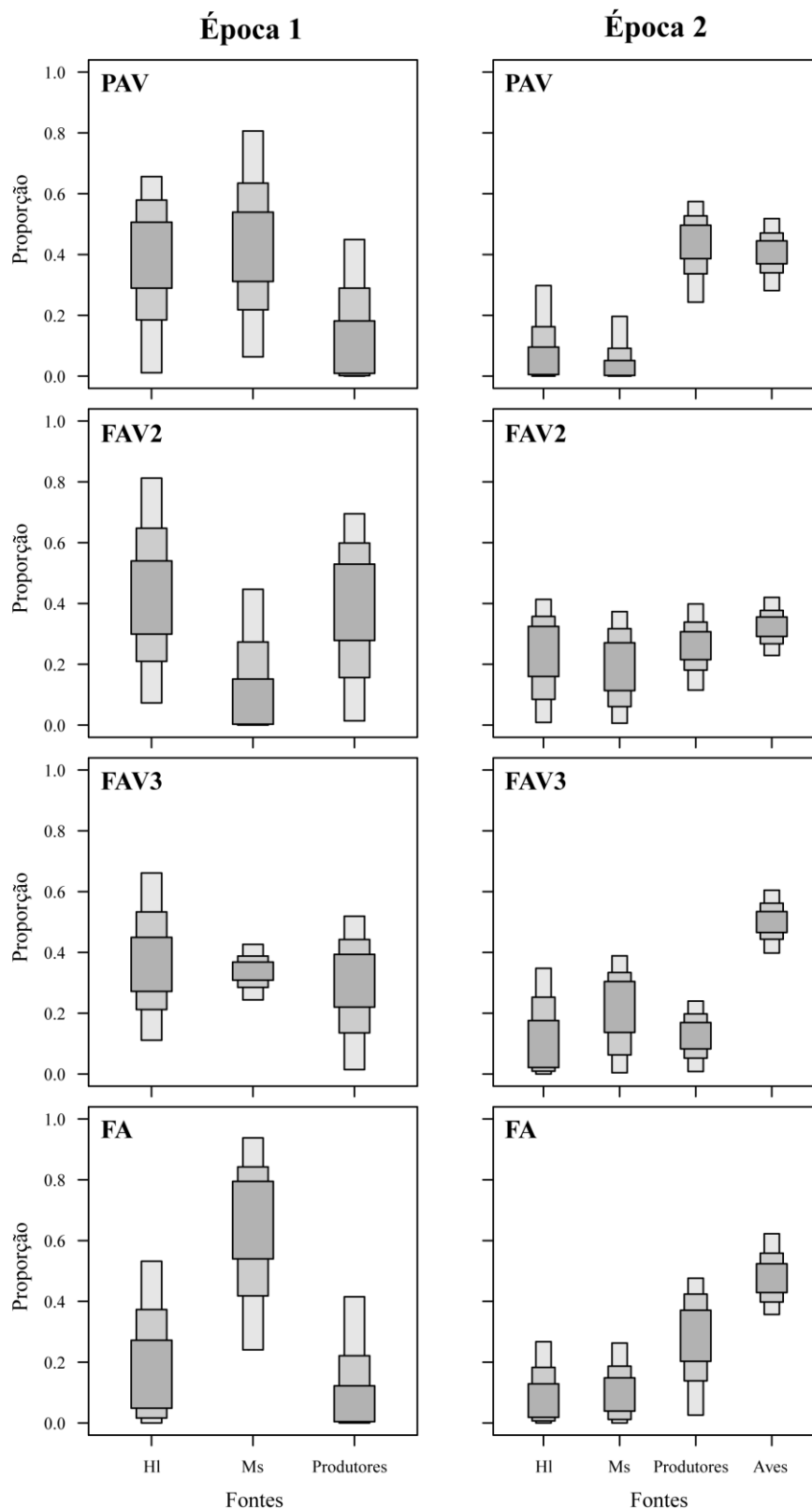


plantas para a dieta foi relativamente equilibrada, com a exceção da área FAV1, a única onde as lagartixas apresentaram uma alimentação praticamente exclusiva de plantas (Figura 3.4.6).

No segundo período de amostragem, as aves foram consumidas pelas lagartixas em todas as áreas, variando a probabilidade de contribuição de 15 a 60%. Nas áreas com mais ninhos de *C. borealis* (PAV, FAV3 e FA), a dieta “Aves” teve uma probabilidade de contribuição superior a 40%. Os Produtores foram mais consumidos nas áreas de planalto P e PAV. Nos restantes locais de estudo, as lagartixas alimentaram-se, de modo geral, de todos os componentes, não havendo diferenças relevantes entre as áreas (Figura 3.4.6).

Entre a Época 1 e a Época 2, ocorreu uma mudança nas contribuições das fontes de alimento nas áreas P, PAV e FA. As lagartixas alteraram a sua dieta, maioritariamente insetívora, para uma alimentação à base de plantas e aves. Na área FAV1 a dieta de *T.d. selvagensis* deixou de ser herbívora, para ser generalista. Nas restantes áreas de estudo, foram poucas ou nenhuma as diferenças nas probabilidades de contribuição (Figura 3.4.6).





**Figura 3.4.6** - Probabilidades de contribuição, calculadas a partir do pacote SIAR, das várias fontes da dieta de *Teira dugesii selvagensis* nas diferentes épocas e áreas da ilha. *Hegeter latebricola* (HI); *Monomorium subopacum* (Ms); Produtores: *Chenopodium coronopus*, *Lycopersicon esculentum*, *Solanum nigrum*, *Schyzogyne sericea*, *Suaeda vera*; Aves – média das assinaturas de penas de crias, ovos e restos de regurgitações de *Calonectris borealis* e *Bulweria bulwerii* de todas as áreas. Os valores estão apresentados em intervalos de confiança de 50%, 70% e 95%.

## **4. Discussão**

### *Estrutura populacional*

No presente estudo verificou-se uma maior abundância de lagartixas e de coberto vegetal em áreas com um menor efetivo de aves marinhas (com a exceção de uma única área – FA). Para além disso, foi nas áreas com maior cobertura vegetal que se encontraram as maiores lagartixas. A proporção de imaturos foi superior na zona Sul/Sudoeste da ilha, coincidindo com as maiores colónias de aves marinhas.

O guano das aves marinhas fertiliza a vegetação presente nas ilhas, promovendo o aumento da produção primária, que é significativo nas áreas onde as colónias são maiores (Sanchez-Piñero e Polis, 2000). Por estimular o aumento de cobertura vegetal, o guano promove também as populações de herbívoros e detritívoros (Markwell e Daugherty, 2002), aumentando a disponibilidade de recursos, quer de origem animal, quer vegetal. Assim sendo, os predadores, como *T.d. selvagensis*, são beneficiados com os *inputs* de guano (Barret et al., 2005; Caut et al., 2012). Porém, quando em excesso, o guano pode matar a vegetação, reduzindo a cobertura vegetal em zonas onde ocorram mais ninhos de aves marinhas (como o caso da área FA). Para além da acumulação excessiva de guano, a destruição das plantas por pisoteio pelas aves marinhas poderá justificar as observações realizadas nessa área.

Nas áreas com maiores colónias de aves marinhas, como a área FA, os *inputs* de guano podem estimular o aumento de insetos coprófagos, mesmo na ausência de plantas (Markwell e Daugherty, 2002). Segundo o estudo de Wheeler (1986), os ninhos das cagarras apresentam uma elevada abundância e diversidade de invertebrados, em grande parte parasitas das próprias cagarras, que são uma fonte de alimento essencial para as lagartixas (Sadek, 1981). Assim, a abundância de presas disponíveis poderá justificar a densidade de lagartixas desta área. Por outro lado, a zona Sul e Sudoeste da ilha é a zona mais protegida dos ventos alísios de nordeste e do *spray* marinho, podendo assim apresentar condições de incubação melhores do que as restantes áreas, uma vez que, sendo uma zona abrigada e com bastantes refúgios, promove temperaturas estáveis e ideais para os ovos de répteis.

No entanto, é igualmente possível que a maior abundância de imaturos nas falésias, quando comparado com planalto, se deva à migração destes indivíduos, vindos do planalto. A dispersão de imaturos pode ocorrer devido à competição por recursos com as lagartixas adultas (Pough et al., 2004), levando à sua saída para áreas menos favoráveis (Galán, 1999), como as falésias. Para além disso, o maior tamanho das fêmeas encontradas nas áreas mais vegetadas corrobora a possibilidade de expulsão dos imaturos destas zonas, uma vez que o aumento de tamanho encontra-se associado a uma maior fecundidade, e por isso seria de esperar a produção de mais juvenis nas áreas onde as fêmeas maiores são mais abundantes (Briggs et al., 2012). Nos habitats mais pobres (como o planalto P), provavelmente os indivíduos de maiores dimensões competem por alimento com as lagartixas de menores dimensões, pelo que os imaturos são pouco frequentes.

Em suma, as grandes abundâncias e as maiores dimensões de lagartixas são encontradas nas áreas mais vegetadas com colónias pequenas de aves marinhas. No entanto, as grandes abundâncias de imaturos, que apresentam uma dieta mais carnívora, estão associadas às maiores colónias de *C. borealis* na zona Sul e Sudoeste da ilha.

A correlação negativa entre as assinaturas de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e o SVL das lagartixas indicam um incremento da herbivoria com o tamanho dos indivíduos, o que está de acordo com o estabelecimento dos indivíduos de maior dimensão em territórios mais vegetados. Sadek (1981), com base em conteúdos estomacais, descreveu uma dieta altamente carnívora entre os exemplares mais jovens de *T. dugesii*, enquanto os indivíduos maiores apresentam uma dieta essencialmente herbívora (Sadek, 1981). Os répteis têm um crescimento contínuo ao longo da sua vida adulta. Como a matéria vegetal é pobre em nutrientes e de difícil digestão devido à presença de celulose, o aumento do tamanho do trato digestivo, proporcional ao tamanho corporal, promove uma melhor absorção de nutrientes, permitindo que frutos, flores e plantas sejam uma fonte de alimento alternativa (Valido e Nogales, 2003). Assim, a digestão de material vegetal torna-se mais eficaz à medida que a dimensão corporal aumenta, o que explica a maior prevalência de herbivoria entre lacertídeos de grandes dimensões, como nos lagartos gigantes de Canárias (Van Damme, 1999; Valido e Nogales, 2003).

### *Análise de dejetos*

Através da análise de dejetos, foi possível comprovar a omnivoria de *T.d. selvagensis*. Na Época 2 foi também verificada a presença de penas nos dejetos. No estudo de Sadek (1981) os indivíduos foram recolhidos em todas as ilhas do arquipélago da Madeira no Verão de 1970. Verificou-se a existência de cerca de 65% (percentagem de volume ocupado) de frutos, sementes e de outros conteúdos vegetais nos conteúdos estomacais recolhidos nas ilhas Selvagens (Sadek, 1981), um valor semelhante aos resultados obtidos neste estudo. A herbivoria em répteis encontra-se bem documentada em lagartos de grandes dimensões, principalmente nas famílias Iguanidae, Agamidae e Scincidae (Throckmorton, 1973; Johnson e Lillywhite, 1979; Zimmerman e Tracy, 1989). Grandes lacertídeos como *Gallotia* spp. (Boulenger, 1916), género endémico das ilhas Canárias, também apresentam uma dieta maioritariamente herbívora (Valido e Nogales, 2003). Para além de *Gallotia* spp., algumas espécies dos géneros mais próximos de *Teira*, como *Lacerta* e *Podarcis*, possuem uma dieta omnívora variada, principalmente constituída por insetos (Pérez-Mellado e Corti, 1993; Pérez-Mellado e Traveset, 1999). O aumento de ingestão de formicídeos e de aves marinhas desde o estudo de Sadek (1981), onde representaram 1,0% e 0,5% do volume total dos estômagos analisados, respectivamente, poderá estar relacionado com o crescimento das suas populações após a erradicação de mamíferos da ilha (Oliveira et al., 2010).

A presença de penas nos dejetos de *T.d. selvagensis* sugere várias possibilidades: a mais plausível é que as lagartixas se estejam a alimentar de crias, uma vez que o aparecimento de penas de crias de aves marinhas nos dejetos só ocorre na Época 2. Por outro lado, talvez as penas possam estar a ser consumidas acidentalmente, durante o consumo de insetos presentes nos ninhos, de carcaças e até mesmo pelo consumo de ectoparasitas das penas das aves (Sadek, 1981).

### *Análise isotópica*

Os nutrientes de origem marinha podem ser introduzidos nas ilhas de duas formas: por ação das ondas/vento e por aves marinhas (Anderson e Polis, 1999). Os *inputs* de guano nas ilhas fazem com que haja uma grande acumulação de azoto nos solos, variando com a abundância das aves marinhas (Sanchez-Piñero e Polis, 2000). Assim, as ilhas habitadas por aves marinhas apresentam um efeito de mosaico, promovendo micro-habitats numa escala espacialmente pequena (Caut et al., 2012). Na Selvagem Grande, nas áreas de falésia a lixiviação é muito maior do que nos planaltos, que não

apresentam um declive que permita o escoamento de nutrientes. No entanto, como na área FA há muitos ninhos de aves, pensa-se que os elevados valores de  $\delta^{15}\text{N}$  resultam do declive pouco acentuado desta falésia, em comparação com as restantes falésias estudadas.

Como as espécies vegetais são diferentes de área para área, não foi possível estandardizar as assinaturas isotópicas. No entanto, como as osgas são estritamente insectívoras (Gil, 2011), apresentam assinaturas isotópicas pouco variáveis entre as épocas, pelo que foram utilizadas como “controlo”. As comparações com *T.d. selvagensis* mostraram que a lagartixa tem uma dieta constituída por outras fontes de alimento que não exclusivamente insetos e que essa dieta varia entre áreas da ilha. A abundância de invertebrados nas diversas áreas da ilha poderá justificar as diferenças nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre as osgas e as lagartixas (maiores nas osgas), obtidas em algumas áreas com colónias grandes de *C. borealis* (FAV3 e FA) e nas áreas mais vegetadas (PAV<sup>+</sup>) (Markwell e Daugherty, 2002).

#### Nicho isotópico ocupado pelas lagartixas - SIBER

Houve uma maior sobreposição das elipses indicadoras dos nichos tróficos (SEAc), e também uma diminuição das métricas isotópicas entre a Época 1 e Época 2 nas áreas com grandes colónias de aves marinhas. A excepção a este padrão ocorreu na área do planalto (P), onde se observou um aumento da área das elipses e a ausência de sobreposição entre épocas.

Vários autores referem que os *inputs* das aves marinhas entram na teia trófica insular direta ou indiretamente – predadas, ou através dos seus dejectos ou cadáveres, que são depois utilizados pelos produtores primários (Caut et al., 2012). Nas áreas com elevados efetivos de cagaras o nicho trófico das lagartixas sofreu poucas alterações entre as duas épocas, mas há que ter em conta que as aves marinhas começaram, já na Época 1, a contribuir para as assinaturas das comunidades existentes através da produção de guano, carcaças e ovos abandonados (Caut et al., 2012). A ausência de sobreposição de nicho entre épocas numa área do planalto (P) leva a crer que as lagartixas se estejam a alimentar em grande parte de componentes com origem marinha na Época 2. É de referir que este planalto é a área mais pobre em recursos da ilha, pelo que a chegada das aves permite uma nova fonte de alimento para as lagartixas.

#### Contribuição relativa das fontes de alimento das lagartixas - SIAR

As estimativas das proporções de diferentes itens para a dieta das lagartixas indicaram que as colónias de aves marinhas são mais importantes na alimentação de *T.d. selvagensis* nas áreas de maior ocorrência de aves. Ainda assim, mesmo nas áreas com reduzido efetivo de aves marinhas, a sua importância para a alimentação das lagartixas é superior a 15% na Época 2. Nas áreas com pouca abundância de aves marinhas e elevada cobertura vegetal as lagartixas tendem a consumir uma dieta variável. Assim, *T.d. selvagensis* apresenta uma dieta generalista em ambas as épocas nessas áreas. No planalto, mais pobre em recursos, as lagartixas apresentam uma substituição de uma dieta insetívora para herbívora e carnívora (aves marinhas).

Os resultados do SIAR corroboram os do SIBER e também os resultados dos dejetos, através da demonstração do consumo de aves marinhas na Época 2. Na análise do SIAR, teria sido interessante correr o modelo na Época 1 com a quarta dieta, “Aves” (nessa altura composta provavelmente por ovos e carcaças), para averiguar qual a importância deste item já na Época 1.

No estudo de cadeias tróficas utilizando isótopos estáveis, deve ter-se em conta o *turnover* isotópico, que consiste no tempo que uma dada concentração isotópica demora a ser atingida num determinado tecido (Kelly, 2000). O referido *turnover* varia de tecido para tecido e também de espécie para espécie. Sendo os répteis animais ectotérmicos, o seu metabolismo e tamanho corporal influenciam o tempo de *turnover*. Num estudo realizado por Warne, Gilman e Wolf (2010), o pequeno lagarto *Sceloporus consobrinus* Baird e Girard, 1854 demora  $80,9 \pm 13,4$  dias a assimilar no músculo até ao equilíbrio, em cativeiro, o carbono da dieta administrada (grilos). Ou seja, os resultados dos isótopos obtidos para os répteis estudados poderão estar a refletir uma alimentação consumida há mais de dois meses. Assim, e até ser possível obter uma estimativa do *turnover* isotópico para a lagartixa-da-Madeira, os resultados deste estudo devem ser interpretados tendo em conta que na primeira época pode haver ainda influência da dieta consumida no início da Primavera (chegada e início da reprodução das aves), e que na segunda época haverá ainda influência da dieta do início de Verão (incubação dos ovos).

As lagartixas poderão estar a alimentar-se de crias vivas, ou poderão simplesmente estar a consumir os seus cadáveres. A atração pelas crias poderá também dever-se ao facto da sua plumagem possuir restos de regurgitações, que promovem um cheiro atrativo para as lagartixas. Contudo, as penas observadas nos dejetos pertencem exclusivamente a crias de aves marinhas, o que realça a importância do nascimento das crias para a dieta de *T.d. selvagensis*.

## **5. Implicações para a Conservação**

As aves marinhas têm uma enorme influência na estrutura, dinâmica e abundância das espécies da Selvagem Grande, uma vez que funcionam como importantes vetores de nutrientes de origem marinha. O guano introduzido nas ilhas pode também promover um aumento na abundância das espécies nativas (Markwell e Daugherty, 2002). O efeito de *bottom-up* provocado pelas aves ao longo da teia trófica, na Selvagem Grande, varia consoante a dimensão das colónias de nidificação. Assim, qualquer flutuação nas populações de aves marinhas, ou até mesmo na disponibilidade de pescado consumido pelas mesmas, pode alterar os ecossistemas terrestres da ilha. A comparação das assinaturas entre os répteis da ilha permitiu caracterizar os diferentes nichos ocupados por ambas, sendo as suas dietas a justificação para os resultados obtidos. Considerando o nicho isotópico das lagartixas, as áreas com mais aves marinhas são aquelas que apresentam uma menor diferença entre épocas, sendo que as grandes diferenças isotópicas ocorrem no planalto, na área da ilha com menos recursos. As áreas vegetadas disponibilizam várias fontes de alimento, pelo que as assinaturas variam conforme a abundância dessas mesmas fontes e também com a dimensão das lagartixas.

As espécies invasoras, como mamíferos roedores e plantas, têm um enorme impacto nas comunidades das ilhas, sendo as aves marinhas fortemente afetadas com a sua presença (Blackburn et al., 2004; Norbury et al., 2014). Em 2002, *Mus musculus* e *Oryctolagus cuniculus* foram erradicados na Selvagem Grande (Oliveira et al., 2010). O crescimento das populações de *T.d. selvagensis* após erradicação destes dois mamíferos promoveu a competição pelos recursos disponíveis, podendo ter levado à exploração de novas fontes de alimento, como as aves marinhas. Os resultados obtidos no presente estudo comprovam que a pressão exercida pelas lagartixas nas aves marinhas é variável ao longo da ilha. No entanto, e ao contrário do que era esperado, os locais com mais vegetação, apesar de promoverem maiores abundâncias de lagartixas, são as áreas nas quais o impacto nas aves marinhas é reduzido. Nestes locais as abundâncias de invertebrados também aparentam ser maiores e as lagartixas, com maiores dimensões, tendem a consumir mais material vegetal. Seria importante em todo o caso monitorizar as populações de lagartixas nas zonas com maiores colónias de aves marinhas para avaliar as suas tendências populacionais à medida que a vegetação se desenvolve.



## **6. Referências bibliográficas**\*

- Almeida, N.F., Almeida, P.F., Gonçalves, H., Sequeira, F., Teixeira, J., Almeida, F.F. (2001): Guias FAPAS: Anfíbios e Répteis de Portugal. Porto, FAPAS e Câmara Municipal do Porto.
- Amstrup, S.C., McDonald, T.L., Manly, B.F.J. (2005): Handbook of Capture-Recapture Analysis. Princeton, Princeton University Press.
- Anderson, W., Polis, G.A. (1999): Nutrient fluxes from water to land: seabirds affect plant nutrient status on Gulf of California islands. *Oecologia* **118**: 324-332.
- Baduini, C.L., Hyrenbach, K.D. (2003): Biogeography of Procellariiform foraging strategies: does ocean productivity influence provisioning? *Mar. Ornithol.* **31**: 101-112.
- Barrett, K., Anderson, W.B., Wait, D.A., Grismer, L.L., Polis, G.A., Rose, M.D. (2005): Marine subsidies alter the diet and abundance of insular and coastal lizard populations. *Oikos* **109**: 145-153.
- Bekoff, M. (2007): *Animals Matter*. Boston, Shambhala.
- Blackburn, T.M., Cassey, P., Duncan, R.P., Evans, K.L., Gaston, K.J. (2004): Avian extinction and mammalian introductions on oceanic islands. *Science* **305**: 1955-1958.
- Bond, A.L., Jones, I.L. (2009): A practical introduction to stable-isotope analysis for seabird biologists: approaches, cautions and caveats. *Mar. Ornithol.* **37**: 183-188.
- Borges, P.A.V., Abreu, C., Aguiar, A.M.F., Carvalho, P., Fontinha, S., Jardim, R., Melo, I., Oliveira, P., Sequeira, M.M., Sérgio, C., Serrano, A.R.M., Sim-Sim, M., Vieira, P. (2008): A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos. Funchal e Angra do Heroísmo, Direcção Regional do Ambiente da Madeira e Universidade dos Açores.
- Brehm, A., Jesus, J., Spinola, H., Alves, C., Vicente, L., Harris, D.J. (2003): Phylogeography of the Madeiran endemic lizard *Lacerta dugesii* inferred from mtDNA sequences. *Molecul. Phylogenet. Evol.* **26**: 222-230.
- Briggs, A.A., Young, H.S., McCauley, D.J., Hathaway, S.A., Dirzo, R., Fisher, R.N. (2012): Effects of spatial subsidies and habitat structure on the foraging ecology and size of geckos. *PLoS ONE* **7**: 1-10.
- Brooke, M.L., Houston, D.C. (1983): The biology and biomass of the skinks *Mabuya sechellensis* and *Mabuya wrightii* on Cousin Island, Seychelles (Reptilia, Scincidae). *J. Zool.* **200**: 179-195.
- Capizzi, D. (1999): Preliminary data on food habits of an Alpine population of Horvath's Rock Lizard *Lacerta horvathi* Méhely, 1904 (Squamata: Sauria: Lacertidae). *Herpetozoa* **11**: 117-120.
- Caut, S., Angulo, E., Pisanu, B., Ruffino, L., Faulquier, L., Lorvelec, O., Chapuis, J.L., Pascal, E., Vidal, E., Courchamp, F. (2012): Seabird modulations of isotopic nitrogen on islands. *PLoS One* **7**: 1-7.
- Clegg, S.M., Owens, I.P.F. (2002): The 'island rule' in birds: medium body size and its ecological explanation. *Proc. R. Soc. Lond. B* **269**: 1359-1365.
- Coleman, D.C., Fry, B. (2012): *Carbon Isotope Techniques*. San Diego, Academic Press.
- Cooper, W.E., Jr. (2000): Food chemical discriminations by an herbivorous lizard, *Corucia zebrata*. *J. Exp. Zool.* **286**: 372-378.

---

\* segundo as normas de escrita da revista *Amphibia-Reptilia*

- Cooper, W.E., Vitt, L.V. (2002): Distribution, extent, and evolution of plant consumption by lizards. *J. Zool., Lond.* **257**: 487-517.
- Cree, A., Lyon, G.L. (1999): Stable carbon isotope ratios as indicators of marine versus terrestrial inputs to the diets of wild and captive tuatara. *N.Z. J. Zool.* **26**: 243-253.
- Cronk, Q.C.B. (1997): Islands: stability, diversity, conservation. *Biodivers. Conserv.* **6**: 477-493.
- Croxall, J.P., Butchart, S.H.M., Lascelles, B., Stattersfield, A.J., Sullivan, B., Symes, A., Taylor, P. (2012): Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conserv. Int.* **22**: 1-34.
- DeNiro, M.J., Epstein, S. (1978): Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* **42**: 495-506.
- Drake, D.R., Mulder, C.P.H., Towns, D.R., Daugherty, C.H. (2002): The biology of insularity: an introduction. *J. Biogeogr.* **29**: 563-569.
- Eifler, D.A. (1995): Patterns of plant visitation by nectar-feeding lizards. *Oecologia* **101**: 228-233.
- Fernández, P., Anderson, D.J., Sievert, P.R., Huyvaert, J.P. (2001): Foraging destinations of three low-latitude albatross species. *J. Zool.* **254**: 391-404.
- Ferreira, A., Aguilar, F., Mata, J., Santos, C.J., Rebelo, R. (2016): Madeiran lizard, *Teira dugesii selvagensis*, pollinates *Schyzogine sericea* on Selvagem Grande (Madeira arquipelago, Portugal). In: XIV Congreso Luso-Español de Herpetología and XVIII Congreso Español de Herpetología Abstracts Book, Spain, p. 187.
- Fischer, A., Van Der Wal, R. (2007): Invasive plant suppresses charismatic seabird—the construction of attitudes towards biodiversity management options. *Biol. Conserv.* **135**: 256-267.
- Galán, P. (1999): Demography and population dynamics of the lacertid lizard *Podarcis bocagei* in north-west Spain. *J. Zool.* **249**: 203-218.
- Gardner, C.J., Jasper, L.D. (2015): Diet of the endemic Malagasy day gecko *Phelsuma modesta leiogaster* Mertens, 1970 in an urban environment. *Herpetol. Notes* **8**: 489-492.
- Gil, C.V.F. (2011): Crescimento individual da osga-das-Selvagens (*Tarentola bischoffi*): influências das variações sazonais na disponibilidade alimentar. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, 44 pp.
- Giudici, A., Navarro, J., Juste, C., González-Solís, J. (2010): Physiological ecology of breeders and sabbaticals in a pelagic seabird. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **389**: 13-17.
- Godínez-Álvarez, H. (2004): Pollination and seed dispersal by lizards: a review. *Rev. Chil. Hist. Nat.* **77**: 569-577.
- Granadeiro, J.P., Dias, M.P., Rebelo, R., Santos, C.D., Catry, P. (2006): Numbers and population trends of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* at Selvagem Grande, Northeast Atlantic. *Waterbirds* **29**: 56-60.
- Granadeiro, J.P., Monteiro, L.R., Furness, R.W. (1998): Diet and feeding ecology of Cory's shearwater *Calonectris diomedea* in the Azores, north-east Atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **166**: 267-276.
- Granadeiro, J.P., Nunes, M., Silva, M., Furness, R.W. (1998): Flexible foraging strategy of Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*, during the chick-rearing period. *Anim. Behav.* **56**: 1169-1176.
- Hamer, K., Read, H. (1987): Patterns of return to land in a colony of Cory's Shearwaters (*Calonectris diomedea*) on Selvagem Grande. *Seabird* **10**: 3-11.

- Hawlena, D., Pérez-Mellado, V. (2009): Change your diet or die: predator-induced shifts in insectivorous lizard feeding ecology. *Oecologia* **161**: 411-419.
- Howland, M.R., Corr, L.T., Young, S.M.M., Jones, V., Jim, S., Van Der Merwe, N.J., Mitchell, A.D., Evershed, R.P. (2003): Expression of the dietary isotope signal in the compound-specific  $\delta^{13}\text{C}$  values of pig bone lipids and amino acids. *Int. J. Osteoarchaeology* **13**: 54-65.
- IUCN (2016): IUCN Red List of Threatened Species, Version 2016.2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Jackson, A.L., Inger, R., Parnell, A.C., Bearhop, S. (2011): Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *J. Anim. Ecol.* **80**: 595-602.
- Janzen, D.H. (1973): Sweep samples of tropical foliage insects: effects of seasons, vegetation types, elevation, time of day, and insularity. *Ecology* **54**: 687-701.
- Jardim, R., Sequeira, M.M. (2008): List of vascular plants (Pteridophyta and Spermatophyta). In: A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos, p.179-208. Borges, P.A.V., Abreu, C., Aguiar, A.M.F., Carvalho, P., Fontinha, S., Jardim, R., Melo, I., Oliveira, P., Sequeira, M.M., Sérgio, C., Serrano, A.R.M., Sim-Sim, M., Vieira, P., Eds, Direcção Regional do Ambiente da Madeira e Universidade dos Açores, Funchal e Angra do Heroísmo.
- Jesus, J., Teixeira, S., Teixeira, D., Freitas, T., Russo, D. (2009): Vertebrados terrestres autóctones dos arquipélagos da Madeira e Selvagens: Répteis e Mamíferos. Funchal, Direcção Regional do Ambiente.
- Johnson, R.N., Lillywhite, H.B. (1979): Digestive efficiency of the omnivorous lizard *Klauberina reversiana*. *Copeia* **1979**: 431-437.
- Kelly, J.K. (2000): Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Can. J. Zool.* **78**: 1-27.
- Lack, D. (1947): Darwin's finches: An essay on the general biological theory of evolution. Cambridge, Cambridge University Press.
- Layman, C.A., Araujo, M.S., Boucek, R., Hammerschlag-Peyer, C.M., Harrison, E., Jud, Z.R., Matich, P., Rosenblatt, A.E., Valudo, J.J., Yeager, L.A., Post, D.M., Bearhop, S. (2012): Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biol. Rev.* **87**: 545-562.
- Legler, J.M., Sullivan, L.J. (1979): The application of stomach-flushing to lizards and anurans. *Herpetologica* **35**: 107-110.
- Lord, J.M., Marshall, J. (2001): Correlations between growth form, habitat, and fruit colour in the New Zealand flora, with reference to frugivory by lizards. *N. Z. J. Bot.* **39**: 567-576.
- Markwell, T.J., Daugherty, C.H. (2002): Invertebrate and lizard abundance is greater on seabird-inhabited islands than on seabird-free islands in the Marlborough Sounds, New Zealand. *Écoscience* **9**: 293-299.
- Mateo, M.A., Serrano, O., Serrano, L., Michener, R.H. (2008): Effects of sample preparation on stable isotope ratios of carbon and nitrogen in marine invertebrates: implications for food web studies using stable isotopes. *Oecologia* **157**: 105-115.
- Matias, R., Rebelo, R., Granadeiro, J.P., Catry, P. (2009): Predation by Madeiran Wall Lizards *Teira dugesii* on Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* hatchlings at Selvagem Grande, North Atlantic. *Waterbirds* **32**: 600-603.
- Meiri, S. (2007): Size evolution in island lizards. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **16**: 702-708.

- Michener, R., Lajtha, K. (2007): Stable isotopes in ecology and environmental science. 2<sup>nd</sup> edition. Boston, Blackwell Publishing.
- Minnaar, I.A., Köhler, A., Purchase, C., Nicolson, S.W. (2013): Coloured and toxic nectar: feeding choices of the Madagascar Giant Day Gecko, *Phelsuma grandis*. *Ethology* **119**: 417-426.
- Monteiro, L.R., Ramos, J.A., Furness, R.W., del Nevo, A.J. (1996): Movements, morphology, breeding, molt, diet and feeding of seabirds in the Azores. *Colon. Waterbirds* **19**: 82-97.
- Mougin, J.L., Jouanin, C., Roux, F. (2000): Démographie du Puffin cendré de l'île Selvagem Grande (30°09'N, 15°52'W). *Rev. Ecol.* **55**: 275-290.
- Mougin, J.L., Jouanin, C.H.R., Roux, F. (1997): Intermittent breeding in Cory's shearwater *Calonectris diomedea* of Selvagem Grande, North Atlantic. *Ibis* **139**: 40-44.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000): Biodiversity Hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**: 853-858.
- Navarro, J., González-Solís, J. (2009): Environmental determinants of foraging strategies in Cory's shearwaters *Calonectris diomedea*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **378**: 259-267.
- Neves, V., Nolf, D., Clarke, M.R. (2011): Diet of Bulwer's petrel (*Bulweria bulwerii*) in the Azores, NE Atlantic. *Waterbirds* **34**: 357-362.
- Norbury, G., van den Munckhof, M., Neitzel, S., Hutcheon, A., Reardon, J., Ludwig, K. (2014): Impacts of invasive house mice on post-release survival of translocated lizards. *N. Z. J. Ecol.* **38**: 322-327.
- Nyhaven, D.F., Kragelund, C., Olesen, J.M., Jones, C. (2001): Insular interactions between lizards and flowers: flower visitation by an endemic Mauritian gecko. *J. Trop. Ecol.* **17**: 755-761.
- Olesen, J.M., Valido, A. (2003): Lizards as pollinators and seed dispersers: an island phenomenon. *Trends Ecol. Evol.* **18**: 177-181.
- Oliveira, P. (2008): Os vertebrados (Chordata) dos arquipélagos da Madeira e das Selvagens. In: A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos, p.357-370. Borges, P.A.V., Abreu, C., Aguiar, A.M.F., Carvalho, P., Fontinha, S., Jardim, R., Melo, I., Oliveira, P., Sequeira, M.M., Sérgio, C., Serrano, A.R.M., Sim-Sim, M., Vieira, P., Eds, Direcção Regional do Ambiente da Madeira e Universidade dos Açores, Funchal e Angra do Heroísmo.
- Oliveira, P., Menezes, D. (2004): Bird of the Arquipélago of Madeira. Funchal, Serviço do Parque Natural da Madeira.
- Oliveira, P., Menezes, D., Trout, R., Buckle, A., Geraldès, P., Jesus, J. (2010): Successful eradication of the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and house mouse (*Mus musculus*) from the island of Selvagem Grande (Macaronesian archipelago), in the Eastern Atlantic. *Integr Zool* **5**: 70-83.
- Paiva, V.H., Geraldès, P., Ramirez, I., Meirinho, A., Garthe, S., Ramos, J.A. (2010): Foraging plasticity in a pelagic seabird species along a marine productivity gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **398**: 259-274.
- Parnell, A., Inger, R., Bearhop, S., Jackson, A.L. (2008): SIAR: Stable isotope analysis in R. Disponível em: <http://cran.r-project.org/web/packages/siar>
- Pérez-Mellado, V., Corti, C. (1993): Dietary adaptations and herbivory in lacertid lizards of the genus *Podarcis* from western Mediterranean islands (Reptilia: Sauria). *Bonn. Zool. Beitr.* **44**: 193-220.
- Pérez-Mellado, V., Pérez-Cembranos, A., Garrido, M., Luiselli, L., Corti, C. (2011): Using faecal samples in lizard dietary studies. *Amphibia-Reptilia* **32**: 1-7.

- Pérez-Mellado, V., Traveset, A. (1999): Relationships between plants and Mediterranean lizards. *Nat. Croat.* **8**: 275-285.
- Post, D.M. (2002): Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* **83**: 703-718.
- Pough, F.H., Andrews, R.M., Cadle, J.E., Crump, M.L., Savitzky, A.H., Wells, K.D. (2004): *Herpetology*, 3<sup>rd</sup> Edition. Upper Saddle River, Pearson/Prentice Hall.
- Press, J.R., Short, M.J. (1994): *Flora of Madeira*. London, Natural History Museum.
- Preston, T., Owens, N.J.P. (1985): Preliminary <sup>13</sup>C measurement using a gas chromatograph interfaced to an isotope ratio mass spectrometer. *Biomed. Mass spectrum.* **12**: 510-513.
- R Core Team (2014): *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, R Foundation for Statistical Computing.
- Rocha, C.F.D., Vrcibradic, D., Van Sluys, M. (2004): Diet of the lizard *Mabuya agilis* (Sauria: Scincidae) in an insular habitat (Ilha Grande, RJ, Brazil). *Braz. J. Biol.* **64**: 135-139.
- Sadek, R.A. (1981): The diet of the Madeiran lizard *Lacerta dugesii*. *Zool. J. Linn. Soc.* **73**: 313-341.
- Sáez, E., Traveset, A. (1995): Fruit and nectar feeding by *Podarcis lilfordi* (Lacertidae) on Cabrera Archipelago (Balearic Islands). *Herp. Rev.* **26**: 121-123.
- Sánchez-Piñero, F., Polis, G.A. (2000): Bottom-up dynamics of allochthonous input direct and indirect effects of seabirds on islands. *Ecology* **81**: 3117-3132.
- Schreiber, E.A., Burger, J. (2001): *Biology of Marine Birds*. Boca Raton, CRC Press.
- Schwarz, C.J., Arnason, A.N. (1996): A general methodology for the analysis of open-model capture recapture experiments. *Biometrics* **52**: 860-873.
- Shepherd, S.A., Hawkes, M.W. (2005): Algal food preferences and seasonal foraging strategy of the marine iguana, *Amblyrhynchus cristatus*, on Santa Cruz, Galapagos. *Bull. Mar. Sci.* **77**: 51-72.
- Sokol, O.M. (1967): Herbivory in lizards. *Evolution* **21**: 192-194.
- Spatz, D.R., Newton, K.M., Heinz, R., Tershy, B., Holmes, N.D., Butchart, S.H., Croll, D.A. (2014): The biogeography of globally threatened seabirds and island conservation opportunities. *Conserv. Biol.* **28**: 1282-1290.
- Stüben, P.E. (2016): *The Coleoptera of the Salvage Islands*. Mönchengladbach, Curculio Intitute.
- Throckmorton, G.S. (1976): Oral food processing in two herbivorous lizards, *Iguana iguana* (Iguanidae) and *Uromastix aegyptius* (Agamidae). *J. Morphol.* **148**: 363-390.
- Tiezen, L.L., Boutton, T.W. (1989): Stable carbon isotopes in terrestrial ecosystem research. In: *Stable isotopes in ecological research*, p.167-195. Rundel, P.W., Ehleringer, J.R., Nagy, K.A., Eds, Springer, New York.
- Traveset, A. (1995): Seed dispersal of *Cneorum tricoccon* L. (Cneoraceae) by lizards and mammals in the Balearic islands. *Acta Oecol.* **16**: 171-178.
- Traveset, A., Sáez, E. (1997): Pollination of *Euphorbia dendroides* by lizards and insects: spatio-temporal variation in patterns of flower visitation. *Oecologia* **111**: 241-248.

- Valido, A., Nogales, M. (1994): Frugivory and seed dispersal by the lizard *Gallotia galloti* (Lacertidae) in a xeric habitat of the Canary Islands. *Oikos* **70**: 403-411.
- Valido, A., Nogales, M. (2003): Digestive ecology of two omnivorous Canarian lizard species (*Gallotia*, Lacertidae). *Amphibia-Reptilia* **24**: 331-344.
- Valido, A., Nogales, M., Medina, F.M. (2003): Fleshy fruits in the diet of Canarian lizards *Gallotia galloti* (Lacertidae) in a xeric habitat of the island of Tenerife. *J. Herpetol.* **37**: 741-747.
- Valido, A., Olesen, J.M. (2010): Pollination on islands: examples from the Macaronesian archipelagos. In: Terrestrial arthropods of Macaronesia: Biodiversity, Ecology and Evolution, p.249-283. Serrano, A.R.M., Borges, P.A.V., Boieiro, M., Oromí, P., Eds, Sociedade Portuguesa de Entomologia, Lisboa.
- Van Damme, R. (1999): Evolution of herbivory in lacertid lizards: effects of insularity and body size. *J. Herpetol.* **33**: 663-674.
- Vinagre, C., Salgado, J., Costa, M.J., Cabral, H.N. (2008): Nursery fidelity, food web interactions and primary sources of nutrition of the juveniles of *Solea solea* and *S. senegalensis* in the Tagus estuary (Portugal): A stable isotope approach. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **76**: 255-264.
- Warne, R.W., Gilman, C.A., Wolf, B.O. (2010): Tissue carbon incorporation rates in lizards: implications for studies using stable isotopes in terrestrial ectotherms. *Physiol. Biochem. Zool.* **83**: 608-617.
- Wheater, C.P. (1986): Cory's Shearwater burrows as habitats for invertebrates on Selvagem Grande. *Bocagiana* **102**: 1-9.
- Whitaker, A.H. (1987): The roles of lizards in New Zealand plant reproductive strategies. *N. Z. J. Bot.* **25**: 315-328.
- Whiting, M.J., Greeff, J.M. (1997): Facultative frugivory in the Cape Flat lizard, *Platysaurus capensis* (Sauria: Cordylidae). *Copeia* **1997**: 811-818.
- Whittaker, R.J. (1998): *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation*. New York, Oxford University Press.
- Zar, J.H. (2010): *Biological statistics*, 5<sup>th</sup> edition. New Jersey, Prentice Hall.
- Zimmerman, L.C., Tracy, C.R. (1989): Interactions between environments and ectothermic and herbivory in reptiles. *Physiol. Zool.* **62**: 374-409.

## 7. Anexos

**Anexo 3.2.1** - Diferenças estatísticas (teste *post-hoc* de Bonferroni) respeitantes à dimensão média de *Teira dugesii selvagensis*, nas diferentes áreas e épocas para Machos (em cima) e Fêmeas (em baixo). \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ .

M ( $n = 902$ )		Época 1						Época 2					
		P	FAV <sup>+</sup>	PAV <sup>+</sup>	FAV1	FAV2	FA	P	FAV <sup>+</sup>	PAV <sup>+</sup>	FAV1	FAV2	FA
Época 1	P ( $n=40$ )	-		*			***			**			
	FAV <sup>+</sup> ( $n=16$ )		-										
	PAV <sup>+</sup> ( $n=164$ )	*		-	***	***	***	**				***	***
	FAV1 ( $n=24$ )			***	-				***	***	**		
	FAV2 ( $n=69$ )			***		-			***	***	***		
	FA ( $n=137$ )	***		***			-	***	***	***	***		
Época 2	P ( $n=78$ )			**			***	-	*	***			
	FAV <sup>+</sup> ( $n=96$ )				***	***	***	*	-			***	***
	PAV <sup>+</sup> ( $n=117$ )	**			***	***	***	***		-		***	***
	FAV1 ( $n=68$ )				**	***	***				-		**
	FAV2 ( $n=29$ )			***					***	***		-	
	FA ( $n=64$ )			***					***	***	**		-

F ( $n = 896$ )		Época 1						Época 2					
		P	FAV <sup>+</sup>	PAV <sup>+</sup>	FAV1	FAV2	FA	P	FAV <sup>+</sup>	PAV <sup>+</sup>	FAV1	FAV2	FA
Época 1	P ( $n=31$ )	-		***									
	FAV <sup>+</sup> ( $n=17$ )		-										
	PAV <sup>+</sup> ( $n=78$ )	***		-		***	***	***	***			***	***
	FAV1 ( $n=15$ )				-								
	FAV2 ( $n=64$ )			***		-		***	**	***	***		
	FA ( $n=108$ )			***			-			***	***		
Época 2	P ( $n=114$ )			***		***		-					
	FAV <sup>+</sup> ( $n=118$ )			***		**			-				
	PAV <sup>+</sup> ( $n=145$ )					***	***			-			***
	FAV1 ( $n=96$ )					***	***				-		**
	FAV2 ( $n=52$ )			***								-	
	FA ( $n=58$ )			***						***	**		-

**Anexo 3.2.2** - Resultados estatísticos (teste *t*) respeitantes à comparação das assinaturas médias de azoto ( $\delta^{15}\text{N}$ ) de *Teira dugesii selvagensis* com *Tarentola bischoffi* nas diferentes áreas e épocas da ilha.

	Época 1	Época 2
P	$t_{12} = -1,16;$ $P=0,267$	$t_{11} = -4,32;$ $P=0,001$
FAV <sup>+</sup>	$t_{11} = -1,42;$ $P=0,185$	$t_{11} = -1,71;$ $P=0,115$
PAV <sup>+</sup>	$t_{11} = -2,97;$ $P=0,013$	$t_{10} = -3,81;$ $P=0,003$
FAV1	$t_{12} = -3,59;$ $P=0,004$	$t_{12} = -1,00;$ $P=0,338$
PAV	$t_{12} = 0,25;$ $P=0,804$	$t_{11} = -0,40;$ $P=0,695$
FAV2	$t_{11} = 0,96;$ $P=0,359$	$t_{11} = -1,12;$ $P=0,285$
FAV3	$t_{11} = -4,48;$ $P=0,001$	$t_{11} = -4,42;$ $P=0,001$
FA	$t_{11} = -3,03;$ $P=0,012$	$t_{12} = -2,57;$ $P=0,025$